А. В. Перышкин



ФИЗИКА

7

ДРОФА

ВЕРТИКАЛЬ

Электронное приложение www.drofa.ru

А. В. Перышкин



ФИЗИКА

Учебник для общеобразовательных учреждений

Рекомендовано
Министерством
образования и науки
Российской Федерации

2-е издание, стереотипное





Москва



2013

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72
П27

Учебник доработан и подготовлен к изданию
Н. В. Филонович

Перышкин, А. В.
П27 Физика. 7 кл. : учеб. для общеобразоват. учреждений / А.В. Перышкин. — 2-е изд., стереотип. — М. : Дрофа, 2013. — 221, [3] с. : ил.

ISBN 978-5-358-11662-7

Переработанный в соответствии с требованиями нового Федерального государственного образовательного стандарта учебник, структура и методология изложения которого сохранены, представляет собой основу учебно-методического комплекса по физике для 7 класса, в который также входят электронное приложение к учебнику, рабочая тетрадь и методическое пособие. Учебник отличается чётким, лаконичным изложением материала. В конце каждого параграфа имеются вопросы для самопроверки, система заданий и упражнений, включающих качественные, графические, вычислительные и экспериментальные задачи.

Учебник одобрен РАО и РАН и рекомендован Министерством образования и науки Российской Федерации. Включен в Федеральный перечень учебников в составе завершённой линии.

Достоинством книги являются ясность, краткость и доступность изложения. Все главы учебника содержат богатый иллюстративный материал.

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72

ISBN 978-5-358-11662-7



Введение

§ 1 ЧТО ИЗУЧАЕТ ФИЗИКА



МИХАИЛ ВАСИЛЬЕВИЧ ЛОМОНОСОВ

(1711—1765)

Выдающийся русский учёный. Внёс огромный вклад в развитие науки, культуры и образования в России

Ребята, вы приступаете к изучению нового для вас предмета, который называется «Физика».

Слово «физика» происходит от греческого слова «фюзис», что означает *природа*. Оно впервые появилось в сочинениях одного из величайших мыслителей древности — **Аристотеля**, жившего в IV в. до нашей эры.

В русский язык слово «физика» было введено **Михаилом Васильевичем Ломоносовым**, когда он издал в России первый учебник физики в переводе с немецкого языка.

Физика — одна из основных наук о природе.

Если внимательно приглядеться к происходящему в окружающем нас мире, то можно заметить, что в нём происходят разнообразные изменения, или *явления*.

Изменения, происходящие с телами и веществами в окружающем мире, называют явлениями.

Так, например, кусочек льда, внесённый в тёплую комнату, начнёт таять. Вода в чайнике, поставленном на огонь, закипит. Если по проволоке пропустить электрический ток, то она нагреется и может даже раскалиться докрасна (как в электрической лампочке).

Таяние льда, кипение воды, падение камня, нагревание проволоки током, ветер, гром — всё это различные **явления**.

В физике изучают: *механические, электрические, магнитные, тепловые, звуковые и световые явления*. Все эти явления называют **физическими**.

Любые превращения вещества или проявления его свойств, происходящие без изменения состава вещества, называют физическими явлениями.

Может ли одна такая наука, как физика, изучить множество явлений?

Физика обладает необыкновенной особенностью. Изучая самые простые явления, можно вывести *общие законы*.

Например, изучая свободное падение шариков, имеющих разный размер, с различной высоты, можно установить законы, которые будут выполняться при падении других тел.

Задача физики состоит в том, чтобы открывать и изучать законы, которые связывают между собой различные физические явления, происходящие в природе.



Рис. 1. Смена дня и ночи

Например, выяснено, что причиной падения на Землю различных тел является их притяжение Землёй. Смена дня и ночи объясняется тем, что Земля вращается вокруг своей оси (рис. 1). Одна из причин возникновения ветра — неравномерное нагревание воздуха.

Изучением природы занимаются и другие науки: биология, химия, география, астрономия. Все эти науки применяют законы физики. Например, в географии они необходимы для объяснения климата, течения рек, образования ветров и других явлений. В астрономии законы физики используют при изучении строения и развития небесных тел.

Из этой книги вы узнаете о многих важнейших открытиях, благодаря которым развивалась физика, изучите различные физические явления, поймёте, как они связаны между собой, узнаете имена учёных, открывших важнейшие законы.



1. Что такое физика? 2. Что изучает физика? 3. Приведите примеры физических явлений. 4. Какие естественные науки вы знаете?

ЗАДАНИЕ

- Осенью листья на деревьях желтеют и опадают. Какие процессы при этом можно отнести к биологическим, химическим, физическим явлениям?

§ 2 НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕРМИНЫ



Рис. 2. Физические тела



Рис. 3. Тела разной формы, но одинакового объёма

В физике, кроме обычных слов, используют специальные слова, или *термины*, обозначающие физические понятия. Некоторые из таких слов постепенно вошли в нашу разговорную речь. Например, такие, как «электричество», «энергия», «сила» и др.

В физике каждое из окружающих нас тел (песчинку, камень, Луну) принято называть *физическим телом* или просто *телом*.

Физические тела показаны на рисунке 2 — это ручка, листок, капля воды, теннисный мяч.

Всякое тело имеет форму и объём. На рисунке 3 изображены тела разной формы, но одинакового объёма — кусок пластилина и слон, вылепленный из такого же куска пластилина. На рисунке 4 — тела разного объёма, но одинаковой формы — две ложки.

Всё то, из чего состоят физические тела, называют **веществом**. Железо, медь, резина, воздух, вода — всё это различные вещества.

Вода — вещество, капля воды — физическое тело, алюминий — вещество, алюминиевая ложка — физическое тело.

Вещество — это один из видов *материи*. А словом «материя» в науке называют всё, что есть во Вселенной.

Материя — это всё то, что существует во Вселенной независимо от нашего сознания (небесные тела, растения, животные и др.).



Рис. 4. Тела одинаковой формы, но разного объёма

Примерами другого, отличного от вещества вида материи являются свет, звук, радиоволны. Нам известно, что радиоволны реально существуют, несмотря на то что мы их не видим.

В этом параграфе вы познакомились с новыми для вас терминами: *физическое тело*, *вещество*, *материя*.

Изучая физику, вы будете постоянно расширять свои знания, узнавать новые термины и тем самым постигать язык этой интересной науки.



? Вопросы

1. Что в физике понимают под термином «физическое тело»? 2. Что называют веществом? Приведите примеры физических тел и веществ. 3. В чём сходство и различие тел, изображённых на рисунках 3, 4?

§ 3 НАБЛЮДЕНИЯ И ОПЫТЫ

Многие знания получены людьми из собственных **наблюдений**.

Для изучения какого-либо явления необходимо прежде всего наблюдать его и по возможности не один раз. Чтобы, например, изучить такое явление, как падение тел на Землю, недостаточно один раз увидеть, как падает то или иное тело. Следует выяснить, будет ли разница в падении тела лёгкого и тяжёлого, сравнить падение тела с разной высоты. Одинаково ли падают тела различных размеров? Это можно узнать, если много раз наблюдать различные случаи падения тел.



Наблюдение звёздного неба

Конечно, ждать, пока какое-либо тело упадёт само, не стоит. Для этого берут разные тела и заставляют их падать. Тем самым вызывают явление падения тел, иными словами, проводят **опыт**. Во время опытов обычно выполняют *измерения*.

Опыты отличаются от наблюдений тем, что их проводят с определённой целью, по заранее обдуманному плану. Для составления такого плана лучше всего иметь предварительные догадки о том, как протекает явление, т. е. выдвинуть *гипотезу*.

На основании многочисленных наблюдений и опытов учёные открывают *законы*, действующие в природе.

Выдвигая ту или иную гипотезу, учёные с помощью физического эксперимента находят подтверждение *физической теории* или её опровержение.

Чтобы получить научные знания об окружающем нас мире, необходимо обдумать и объяснить результаты проведённых опытов, найти причины наблюдаемых явлений, сделать *выводы*.

Известна легенда об итальянском учёном Г. Галилее. Для того чтобы изучить, как происходит падение тел, Галилей ронял разные шары с наклонной башни в г. Пизе (рис. 5). Проделав такие опыты, учёный получил подтверждение своей гипотезы и открыл закон падения тел.



Рис. 5. Пизанская башня

Учёные экспериментально изучают связь между отдельными явлениями и выявляют определённые закономерности. На основе этого создаётся **теория** явления, которая объединяет отдельные законы. **Физическая теория** систематизирует полученные из эксперимента сведения о природных процессах. Теория может не только объяснить наблюдаемое явление, но и предсказать новые. Так, Дж. Максвелл предсказал существование электромагнитных волн, а Д. И. Менделеев ещё до открытия новых химических элементов предсказал их существование в природе на основе открытого им периодического закона.

Таким образом, источниками физических знаний являются *наблюдения* и *опыты*.



1. Как мы получаем знания о явлениях природы? **2.** Чем отличаются наблюдения от опытов? **3.** Достаточно ли одних опытов, для того чтобы получить научные знания?

§ 4 ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ. ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

В быту, технике, при изучении физических явлений часто приходится выполнять различные измерения. Так, например, изучая падение тела, необходимо измерить высоту, с которой падает тело, массу тела, его скорость, время падения. Высота, масса, скорость, время и т. д. являются **физическими величинами**. Физическую величину можно измерить.

Измерить какую-нибудь величину — это значит сравнить её с однородной величиной, принятой за единицу.

Так, например, измерить длину стола — значит сравнить её с другой длиной, которая принята за единицу длины, например с *метром*.

Для каждой физической величины приняты свои единицы.

Для удобства все страны мира стремятся пользоваться одинаковыми единицами физических величин. С 1963 г. в России и других странах применяется Международная система единиц — СИ (система интернациональная). В этой системе основной единицей длины является *метр* (**1 м**), единицей времени — *секунда* (**1 с**), единицей массы — *килограмм* (**1 кг**).

Часто применяют единицы, которые в 10, 100, 1000 и т. д. раз больше принятых единиц (*кратные*). Эти единицы получили наименования с соответствующими приставками, взятыми из греческого языка. «Дека» — 10, «гекто» — 100, «кило» — 1000 и др.

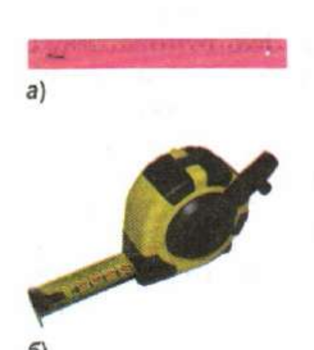


Рис. 6. Приборы для измерения длины:
а — линейка;
б — рулетка

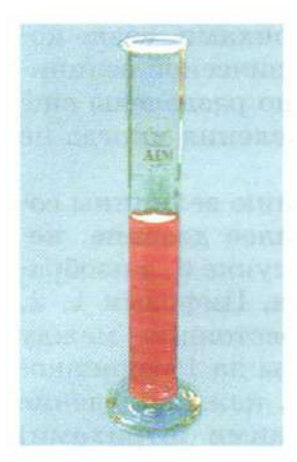


Рис. 7. Измерительный цилиндр

Если используются единицы, которые в 10, 100 и 1000 и т. д. раз меньше принятых единиц (*дольные*), то применяют приставки, взятые из латинского языка. «Деци» — 0,1, «санти» — 0,01, «милли» — 0,001 и др.

Приставки к названиям единиц

	Обозначение	Название	Множитель
Кратные	г	гекто	100 (или 10^2)
	к	кило	1000 (или 10^3)
	М	мега	1 000 000 (или 10^6)

	Обозначение	Название	Множитель
Дольные	д	деци	0,1 (или 10^{-1})
	с	санти	0,01 (или 10^{-2})
	м	милли	0,001 (или 10^{-3})



Рис. 8. Амперметр

Пример. Длина теннисной ракетки 60 см. Выразите её длину в метрах (м).

60 см = 0,6 м или $6 \cdot 10^{-1}$ м.

Для проведения опытов необходимы приборы. Одни из них очень просты и предназначены для простых измерений. К таким приборам можно отнести: измерительную линейку, рулетку (рис. 6), измерительный цилиндр (рис. 7) и др.



Рис. 9. Вольтметр

По мере развития физики приборы усложнялись и совершенствовались. Появились амперметры (рис. 8), вольтметры (рис. 9), секундомеры (рис. 10), термометры (рис. 11), электронные весы, шагомеры (рис. 12).

Измерительные приборы, как правило, имеют шкалу. Это значит, что на приборе нанесены штриховые деления, а рядом написаны значения величин, соответствующие делениям.



Рис. 10. Секундомер

Расстояния между двумя штрихами, возле которых написаны значения физической величины, могут быть дополнительно разделены ещё на несколько делений. Эти деления иногда не обозначены числами.

Определить, какому значению величины соответствует каждое самое малое деление, нетрудно. Так, например, на рисунке 6, *а* изображена измерительная линейка. Цифрами 1, 2, 3, 4 и т. д. обозначены расстояния между штрихами, которые разделены на 10 одинаковых делений. Следовательно, каждое деление (расстояние между ближайшими штрихами) соответствует 1 мм. Эта величина называется **ценой деления шкалы** прибора.

Перед тем как приступить к измерению физической величины, следует определить цену деления шкалы используемого прибора.

Для того чтобы определить цену деления, необходимо:

— найти два ближайших штриха шкалы, возле которых написаны значения величины;

— вычесть из большего значения меньшее и полученное число разделить на число делений, находящихся между ними.

Определим цену деления шкалы термометра, изображённого на рисунке 11, *б*.

Возьмём два штриха, около которых нанесены значения измеряемой величины (температуры).

Например, штрихи с обозначениями 10 °C и 20 °C. Расстояния между этими штрихами разделены на 10 делений. Таким образом, цена каждого деления будет равна

$$\frac{20\ °C - 10\ °C}{10} = 1\ °C.$$

Следовательно, термометр показывает 29 °C.

Измерять физические величины в повседневной жизни приходится каждому из вас. Например, чтобы вовремя прийти в школу, при-



Рис. 11. Термометры:
а — электронный;
б — спиртовой





Рис. 12. Электронные приборы: весы, шагомер

ходится измерять время, которое вы тратите на дорогу.

Метеорологи для предсказания погоды измеряют температуру, атмосферное давление, скорость ветра. Врачи при исследовании пациентов измеряют его артериальное давление, температуру, вес. Модельеры, разрабатывая модели одежды, измеряют рост человека, длину рук и пр. Астрономы, изучая планеты, должны знать их температуру, расстояние, на которое они удалены от Земли, и др.



1. Что значит измерить какую-либо величину? **2.** Каковы единицы длины, времени, массы в СИ? **3.** Как определяется цена деления шкалы измерительного прибора?

УПРАЖНЕНИЕ 1

1. Определите цену деления секундомера (см. рис. 10).
2. По рисункам 8 и 9 определите цену деления амперметра и вольтметра.

ЗАДАНИЕ

1. По Интернету найдите прибор для измерения артериального давления — тонометр механический. Определите цену деления шкалы. В каких единицах измеряют артериальное давление?
2. На сайте http://mer.kakras.ru найдите старинные меры объёма, используемые в Древней Руси.
3. Выразите свой вес в пудах, а рост в аршинах.
4. Запишите 2—3 пословицы, поговорки или образных выражения, в которых упоминаются старинные меры длины, массы, объёма и т. п.

Старинные меры

С давних времен человеку приходилось проводить измерения.

В русской системе мер, которая традиционно применялась на Руси, мерой длины, например, мог быть сам человек (рис. 13). Так, *косая сажень* — это расстояние от носка левой ноги до конца среднего пальца поднятой вверх правой руки. *Пядь* или четверть — расстояние между концами расставленных большого и указательного пальцев руки.

В 1899 году наряду с русской системой мер к использованию была разрешена метрическая система.

Сегодня в России применяется Международная система единиц, а старинные меры сохранились лишь в пословицах и поговорках.

Русские меры

Меры длины

1 аршин =71,12 см
1 вершок = 4,44 см
1 косая сажень =2,48 м
1 пядь (четверть) =17,78 см
1 верста = 1,0668 км

Меры веса

1 пуд = 16,38 кг
1 фунт = 0,41 кг
1 унция = 29,86 г



Рис. 13. В старину мерой длины был сам человек

Иностранные меры

Меры длины

1 миля (англ.) = 1,609 км.
1 ярд = 91,44 см

Меры веса

1 фунт (англ.) = 0,45359 кг
1 унция = 28,35 г.

Меры объёма

1 пинта (фр) = 0,9 л
1 пинта (англ., США) = 0,57 л
1 галлон = 4,546 л
1 баррель = 159 л

Единица измерения температуры

1 градус Фаренгейта = 5/9 градуса Цельсия

§ 5 ТОЧНОСТЬ И ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Всякое измерение может быть выполнено с большей или меньшей точностью.

В качестве примера рассмотрим измерение длины ручки демонстрационным метром с сантиметровыми делениями (рис. 14).

Вначале определим цену деления линейки. Она будет равна 1 см.

Если верхний конец ручки совместить с нулевым штрихом, то нижний будет находиться между 11 и 12 штрихами, но ближе к 11.

Какое же из этих двух значений следует принять за длину ручки? Очевидно, то, которое ближе к истинному значению, т. е. 11 см.

Считая, что длина ручки 11 см, мы допустили неточность, так как ручка чуть длиннее 11 см.

В физике допускаемую при измерении неточность называют **погрешностью измерений.** *Погрешность измерения не может быть больше цены деления шкалы измерительного прибора.*

В нашем случае погрешность измерения ручки не превышает 1 см. Если такая точность измерений нас не удовлетворяет, то можно произвести измерения с большей точностью. Но тогда придётся взять масштабную линейку с миллиметровыми делениями, т. е. с ценой деления 1 мм.

В этом случае длина ручки окажется равной 11,2 см.

Из этого примера видно, что точность измерений зависит от цены деления шкалы прибора.

Чем меньше цена деления, тем больше точность измерения.

Точность измерения зависит также от правильного применения измерительного прибора, расположения глаза при отсчёте по прибору.

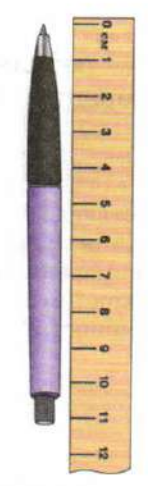


Рис. 14. Измерение длины

Вследствие несовершенства измерительных приборов и наших органов чувств при любом измерении получаются лишь приближённые значения, несколько бо́льшие или меньшие истинного значения измеряемой величины.

Во время выполнения лабораторных работ или просто измерений следует считать, что

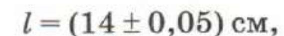
погрешность измерений равна половине цены деления шкалы измерительного прибора.

Измерим длину карандаша. Нулевую отметку линейки совместим с одним концом карандаша, а другой её конец окажется вблизи 14 см. Цена деления линейки 1 мм, тогда погрешность измерения будет равна 0,5 мм или 0,05 см.



Рис. 15. Картина Леонардо да Винчи, хранящаяся в Лувре

Следовательно, длину карандаша можно записать в виде



$$l = (14 \pm 0{,}05)\ \text{см},$$

где l — длина карандаша.

Истинное значение длины карандаша находится в интервале от 13,95 см до 14,05 см.

При записи величин, с учётом погрешности, следует пользоваться формулой

$$\boldsymbol{A = a \pm \Delta a},$$

где A — измеряемая величина, a — результат измерений, Δa — погрешность измерений (Δ — греч. буква «дельта»).



Вопросы

1. Как понимать выражение «измерить длину с точностью до 1 мм»? 2. Можно ли линейкой, имеющей сантиметровые деления, измерить длину с точностью до 1 мм? 3. Какова связь точности измерений с ценой деления шкалы прибора? 4. Какой формулой необходимо пользоваться при записи физических величин с учётом погрешности?

ЗАДАНИЕ

1. Измерьте линейкой с миллиметровыми делениями длину и ширину вашего учебника. Запишите результаты с учётом погрешности измерения.

2. Пользуясь рисунком 11, *б*, определите погрешность измерения термометра.

3. Измерьте линейкой с миллиметровыми делениями длину и высоту картины Л. да Винчи (рис. 15). Запишите результаты измерений с учётом погрешности. Используя Интернет, найдите название картины, её истинный размер и определите масштаб, в котором картина представлена в учебнике.

§ 6 ФИЗИКА И ТЕХНИКА

Развитие физики сопровождалось изменением представлений людей об окружающем мире. Отказ от привычных взглядов, возникновение новых теорий, изучение физических явлений характерно для физики с момента зарождения этой науки до наших дней.

Важное значение имеют открытия в области физики для развития техники. Например, двигатель внутреннего сгорания, приводящий в движение автомобили, тепловозы, речные и морские суда (рис. 16), был создан на основе изучения тепловых явлений.



Рис. 16. Современная техника



Рис. 17. Достижения современной науки

С развитием науки в технике за последние десятилетия произошли грандиозные изменения.

То, что раньше считалось научной фантастикой, сейчас является реальностью. Сегодня трудно представить нашу жизнь без телевизора, DVD-плеера, компьютера, мобильной и интернет-связи.

Современное кинопроизводство, телевидение, радио, магнитная запись (рис. 17) — всё это возникло после того, как были изучены многие звуковые, световые и электрические явления.

В свою очередь, развитие техники влияет на развитие науки. Так, например, усовершенствованные машины, компьютеры, точные измерительные и другие приборы используются учёными при исследовании физических явлений. После того как были созданы ракеты и современные электронные приборы, стало возможным глубже изучить космическое пространство.

ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ

(1564—1642)

Итальянский физик, механик, астроном. Один из основателей естествознания

Подобных примеров можно привести множество. Открытия, сделанные в науке, являются результатом упорного труда многих учёных разных стран.

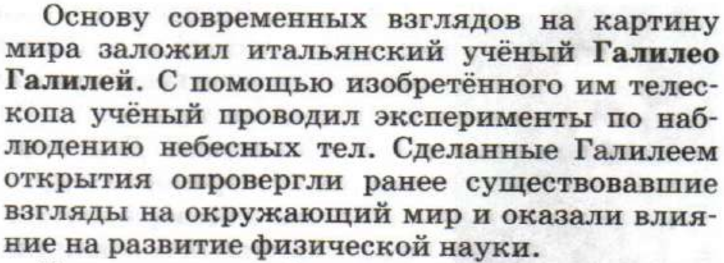
Рассмотрим некоторые этапы развития физики.



ИСААК НЬЮТОН

(1643—1727)

Английский физик, математик и астроном. Открыл основные законы движения тел и закон тяготения, разработал важнейшие разделы высшей математики



Основу современных взглядов на картину мира заложил итальянский учёный **Галилео Галилей**. С помощью изобретённого им телескопа учёный проводил эксперименты по наблюдению небесных тел. Сделанные Галилеем открытия опровергли ранее существовавшие взгляды на окружающий мир и оказали влияние на развитие физической науки.

Возникновение физической теории связано с именем выдающегося английского физика и математика **Исаака Ньютона**. Обобщив результаты наблюдений и опытов своих предшественников (*И. Кеплера*, *Г. Галилея*), Ньютон создал огромный труд «Математические начала натуральной философии». В этой работе учёный изложил важнейшие законы механики, которые были названы его именем (законы Ньютона). Они привели к бурному развитию представлений о механическом движении.

Дальнейшее развитие физики определилось изучением тепловых и электромагнитных явлений. Стремление учёных проникнуть в глубь тепловых процессов привело к зарождению идей о молекулярном строении вещества.

Исследования электромагнитных явлений коренным образом изменили научную картину мира. Оказалось, что нас окружают физические тела и поля. Общую теорию электромагнитных явлений создал **Джеймс Максвелл**.



ДЖЕЙМС МАКСВЕЛЛ

(1831—1879)

Английский физик и математик. Создал теорию электромагнитного поля, предсказал существование в свободном пространстве электромагнитного излучения и его распространение со скоростью света

Теория Максвелла объяснила природу света и помогла разработке новых технических приборов и устройств, основанных на явлениях электромагнетизма.

Новый этап бурного развития физики начался в XX в. Возникли и стали развиваться новые направления: ядерная физика, физика элементарных частиц, физика твёрдого



ЮРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ ГАГАРИН

(1934—1968)

Российский лётчик-космонавт. Первый в мире человек, совершивший полёт в космическое пространство

тела и др. Возросла роль физики и её влияние на технический и социальный прогресс. Свой вклад в развитие современной физики внесли видные учёные России: Н. Г. Басов, П. Л. Капица, Л. Д. Ландау, Л. И. Мандельштам, А. М. Прохоров и др.

Ярким подтверждением связи науки и техники явился огромный прорыв в области изучения космоса. Так, 4 октября 1957 г. в нашей стране был запущен первый в мире искусственный спутник Земли, а 12 апреля 1961 г. **Юрий Алексеевич Гагарин** стал первым космонавтом. Его полёт длился 1 ч 48 мин. А спустя четыре года, в 1965 г. советский космонавт **Алексей Архипович Леонов** стал первым человеком, вышедшим в открытый космос. Продолжительность его «прогулки» составила 12 мин 9 с. Следующим этапом в развитии космонавтики стала посадка на Луну американского космического корабля с астронавтами на борту: **Нейлом Армстронгом и Эдвином Олдрином**, осуществлённая 21 июля 1969 г.



СЕРГЕЙ ПАВЛОВИЧ КОРОЛЁВ

(1907—1966)

Российский конструктор, под руководством которого были построены первые пилотируемые космические корабли, отработана аппаратура для выхода человека в космос

Большой вклад в научную и техническую разработку космических полётов сделал **Сергей Павлович Королёв.** Он являлся главным конструктором первых боевых и космических ракет, искусственных спутников Земли, пилотируемых космических кораблей. С. П. Королёв стал основоположником практической космонавтики.

Искусственные спутники Земли (ИСЗ) стали опорными станциями, с помощью которых исследуется космическое пространство, ведётся наблюдение и изучение Земли, осуществляется телевещание, спутниковая радиосвязь. Запуск первого ИСЗ послужил толчком для развития процесса управления некоторыми объ-


Запуск космических кораблей:
а — в США;
б — в России

ектами, т. е. навигации: космической, астрономической, спутниковой и др.

Здесь названы лишь основные этапы развития физики и перечислены немногие из выдающихся людей науки, сделавших важные открытия, благодаря которым развивалась эта наука.



Вопросы 1. Какое значение имеет физика для техники? Покажите это на примерах. 2. Каких учёных вы знаете? Какие открытия ими были сделаны? 3. Какие естественные науки вам известны? Что они изучают?

ЗАДАНИЕ

1. Используя портал H-cosmos.ru, проведите исследование по теме «Начало космической эры и роль учёных нашей страны в изучении Вселенной». Выполненную работу оформите как презентацию.
2. Используя Интернет, подготовьте сравнительную таблицу «Покорители космоса XX—XXI вв.» (длительность полёта, число космонавтов, стран).
3. Проведите исследование по теме «Спутниковая связь и её роль в жизни человека» и подготовьте презентацию.

ИТОГИ ГЛАВЫ

САМОЕ ГЛАВНОЕ

- В курсе физики изучают *физические явления*, происходящие в окружающем мире.
- Для описания физических явлений вводят специальные термины и понятия, например *физическое тело*, *вещество*, *материя*.

- При изучении физических явлений проводят *наблюдения*, *опыты*, затем выдвигают *гипотезы*, которые проверяют *экспериментом*. На основе результатов эксперимента делают *выводы* и создают *теорию* изучаемого явления, объединяющую отдельные *законы*.
- В ходе эксперимента проводят *измерения* физических величин с помощью специальных приборов.
- При измерении физических величин допускается определённая неточность — *погрешность измерения*, которую необходимо учитывать.

ПРОВЕРЬ СЕБЯ

1. В один столбик выпишите понятия, которые обозначают физическое тело, а в другой — вещество.
   Лёд, ледяная сосулька, древесина, древесный уголь, графит, грифель, мыло, мыльный пузырь.

2. Каким прибором измеряют время?
   А. шагомер
   Б. секундомер
   В. вольтметр
   Г. термометр

3. Основной единицей длины в СИ является...
   А. мм
   Б. м
   В. км
   Г. кг

4. Измерить физическую величину — это значит...
   А. записать её числовое значение
   Б. найти погрешность измерений
   В. найти ей кратную единицу измерения
   Г. сравнить её с однородной величиной, принятой за единицу



Выполните задания, предложенные в электронном приложении.



Глава 1. ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОЕНИИ ВЕЩЕСТВА

§ 7 СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

Ещё в глубокой древности, 2500 лет назад, некоторые учёные высказывали предположение о строении вещества. Греческий учёный **Демокрит** (460—370 до н. э.) считал, что все вещества состоят из мельчайших частичек. В научную теорию эта идея превратилась только в XVIII в. и получила дальнейшее развитие в XIX в. Возникновение представлений о строении вещества позволило не только объяснить многие явления, но и предсказать, как они будут протекать в тех или иных условиях. Появилась возможность влиять на прохождение явлений, объяснять свойства веществ, создавать новые вещества с заданными свойствами. Так появились вещества из пластмассы (пенопласт, плексиглас, стеклопласт, металлопласт и т. п.), синтетический каучук, который используют для изготовления шин для автомобилей, ластиков и др.

О том, что все тела состоят из мельчайших частиц, позволяют судить некоторые простые опыты.

Попытаемся сжать теннисный мячик. При этом объём воздуха, который заполняет мяч, уменьшится. Можно уменьшить и объём надувного шарика, и кусочка воска, если приложить некоторое *усилие*.

Объём тела изменяется также при его нагревании и охлаждении.

Проделаем опыт. Возьмём медный или латунный шарик, который в ненагретом состоянии проходит сквозь кольцо (рис. 18, *а*). Если шарик нагреть, то, расширившись, он уже сквозь



Рис. 18. Тепловое расширение металлического шара

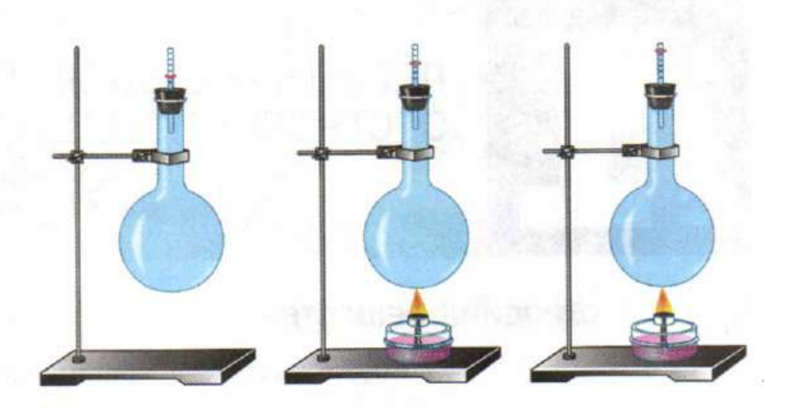


Рис. 19. Изменение объёма жидкости при нагревании

кольцо не пройдёт (рис. 18, *б*). Через некоторое время шарик, остыв, уменьшится в объёме, а кольцо, нагревшись от шарика, расширится, и шарик вновь пройдёт сквозь кольцо.

С помощью опыта определим, как меняется объём жидкости при нагревании.

Колбу, наполненную доверху водой, плотно закроем пробкой. Сквозь пробку пропустим стеклянную трубочку. Вода частично заполнит трубку (рис. 19). Отметим уровень жидкости в трубке. Нагревая колбу, мы заметим, что через некоторое время уровень воды в трубке поднимется.

Следовательно, *при нагревании объём тела увеличивается, а при охлаждении уменьшается.*

Попытаемся объяснить, почему происходит изменение объёма тела.

По-видимому, все вещества состоят из отдельных частичек, между которыми имеются промежутки. Если частицы удаляются друг от друга, то объём тела увеличивается. И наоборот, когда частицы сближаются, объём тела уменьшается.

Тогда возникает вопрос: если все тела состоят из мельчайших частиц, почему они кажутся нам сплошными (например, железо, вода, стекло, дерево)?

Современная наука доказала, что частицы вещества так малы, что мы их не видим.



Рис. 20. Опыт, подтверждающий, что тела состоят из мельчайших частиц

Для того чтобы убедиться в том, что частицы вещества малы, проделаем опыт.

В сосуде с водой растворим маленькую крупинку марганцовки. Через некоторое время вода в нём станет малиновой. Отольём немного окрашенной воды в другой сосуд и дольём в него чистую воду. Раствор во втором сосуде будет окрашен слабее, чем в первом. Потом из второго сосуда снова отольём раствор уже в третий сосуд и дольём его вновь чистой водой. В этом сосуде вода будет окрашена ещё слабее, чем во втором (рис. 20). Поскольку в воде растворили очень маленькую крупинку марганцовки и только часть её попала в третий сосуд, то можно предположить, что крупинка состояла из большого числа мельчайших частиц.

Этот опыт и многие другие подтверждают гипотезу о том, что вещества состоят из очень маленьких частиц.

? Вопросы

1. Из чего состоят вещества? **2.** Какие опыты подтверждают, что вещества состоят из мельчайших частиц? **3.** Как меняется объём тела при изменении расстояния между частицами? **4.** Какой опыт показывает, что частицы вещества очень малы?

§ 8 МОЛЕКУЛЫ

Все вещества состоят из отдельных частиц, между которыми есть промежутки, — это предположение было доказано современной наукой. Частицы были названы *молекулами* (в переводе с латинского «маленькая масса»).

Молекула вещества — это мельчайшая частица данного вещества.

Например, самая маленькая частица воды — молекула воды. Наименьшей частицей сахара является молекула сахара.

Попытаемся представить себе, каковы размеры молекул.



Электронный микроскоп позволяет получать изображения с увеличением до 10^6 раз

Если бы можно было уложить в один ряд вплотную друг к другу 10 000 000 (или 10^7) молекул воды, то получилась бы ниточка длиной всего в 2 мм. Малый размер молекул позволяет получить тонкие плёнки различных веществ. Капля масла, например, может растекаться по воде слоем толщиной всего в 0,000002 м (или $2 \cdot 10^{-6}$ м).

Даже небольшие тела состоят из огромного числа молекул. Так, например, в крупинке сахара содержится очень большое число молекул. Подсчитано, что в 1 см^3 воздуха находится около $27 \cdot 10^{18}$ молекул. Чтобы понять, насколько велико это число, представим следующее. Через маленькое отверстие пропускают по миллиону молекул в секунду, тогда указанное количество молекул пройдёт через отверстие за 840 000 лет.

Из-за очень малых размеров молекулы невидимы невооружённым глазом или в обычные микроскопы. Но при помощи специального прибора — **электронного микроскопа** — удаётся сфотографировать наиболее крупные из них. На рисунке 21 показано расположение молекул белка, являющегося важной частью питания организма человека и животных.

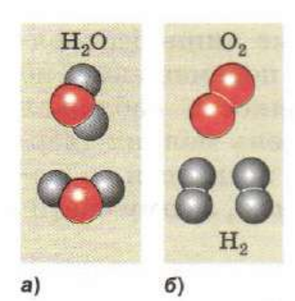
Окружающие нас тела, даже похожие на первый взгляд, будут различны. В природе вы не встретите двух совершенно одинаковых снежинок или песчинок, людей, животных и пр.

Учёные с помощью опытов доказали, что молекулы разных веществ отличаются друг от друга, а молекулы одного и того же вещества одинаковы. Например, воду, полученную из сока или молока, нельзя отличить от воды, полученной путём перегонки из морской воды. Молекулы воды одинаковы. Из таких молекул не может состоять никакое другое вещество.



Рис. 21. Молекула белка под микроскопом

Молекулы, в свою очередь, состоят из ещё более мелких частиц — *атомов* (в переводе с греческого «неделимый»).



а) б)

Рис. 22. Схематическое изображение:
а — молекул воды;
б — молекул водорода и кислорода

Например, наименьшая частица воды — это молекула воды. Она состоит из трёх атомов: двух атомов водорода и одного атома кислорода. Из курса химии вы узнаете, что любое вещество имеет своё обозначение, так, воду обозначают H_2O, где H — атом водорода, O — атом кислорода.

Молекулы принято изображать схематически, т. е. с помощью *моделей* молекул. Две молекулы воды показаны на рисунке 22, *а*. Если разделить две молекулы воды, то образуется два атома кислорода и четыре атома водорода. На рисунке 22, *б* показано, что каждые два атома водорода могут соединиться в молекулу водорода, а атомы кислорода — в молекулу кислорода.



1. Что такое молекула? **2.** Что вы знаете о размерах молекул? **3.** Из каких частиц состоит молекула воды? **4.** Как изображается схематически молекула воды?

§ 9 БРОУНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ



РОБЕРТ БРОУН

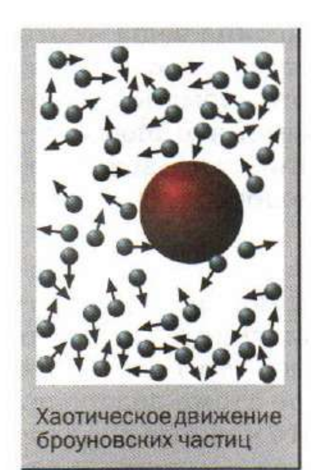
(1773—1858)

Британский ботаник. Первооткрыватель броуновского движения

К числу основных опытных доказательств того, что молекулы движутся, относится явление, которое первым наблюдал в 1827 г. английский ботаник **Роберт Броун**, рассматривая в микроскоп споры растений, находящиеся в жидкости.

Подобный опыт можно проделать, пользуясь краской или тушью, предварительно растёртой до таких мельчайших крупинок, которые видны лишь в микроскоп. Размешав краску в воде, рассматривают полученную смесь в микроскоп.

Можно увидеть, что крупинки краски непрерывно движутся. Самые мелкие из них беспорядочно (хаотически) перемещаются с одного


Хаотическое движение броуновских частиц

места в другое, более крупные лишь беспорядочно колеблются. Такое же перемещение, но только спор растений в жидкости наблюдал Броун. Поэтому движение очень мелких твёрдых частиц, находящихся в жидкости, и называют *броуновским движением*, а саму частицу — *броуновской*.

Наблюдения показывают, что броуновское движение никогда не прекращается. В капле воды (если не давать ей высохнуть) движение крупинок можно наблюдать в течение многих дней, месяцев, лет. Оно не прекращается ни летом, ни зимой, ни днём, ни ночью. В кусках кварца, пролежавших в земле тысячи лет, попадаются иногда капельки воды, замурованные в нём. В этих капельках тоже наблюдали броуновское движение плавающих в воде частиц.

Причина броуновского движения заключается в непрерывном, никогда не прекращающемся движении молекул жидкости (газа), в которой находятся крупинки твёрдого тела. Конечно, эти крупинки во много раз крупнее самих молекул, и когда мы видим под микроскопом движение крупинок, то не следует думать, что мы видим движение самих молекул. Молекулы нельзя видеть в обычный микроскоп, но об их существовании и движении мы можем судить по тем ударам, которые они производят, толкая крупинки краски и заставляя их двигаться.

Можно привести такое сравнение. Группа людей играет на воде в огромный мяч. Они толкают мяч, и от толчков мяч движется то в одном, то в другом направлении. Если наблюдать эту игру издали, то людей не видно, а беспорядочное движение мяча происходит как будто без причины.

Так же мы не видим самих молекул, но понимаем, что непрерывное и беспорядочное дви-

жение крупинок краски происходит из-за толчков молекул.

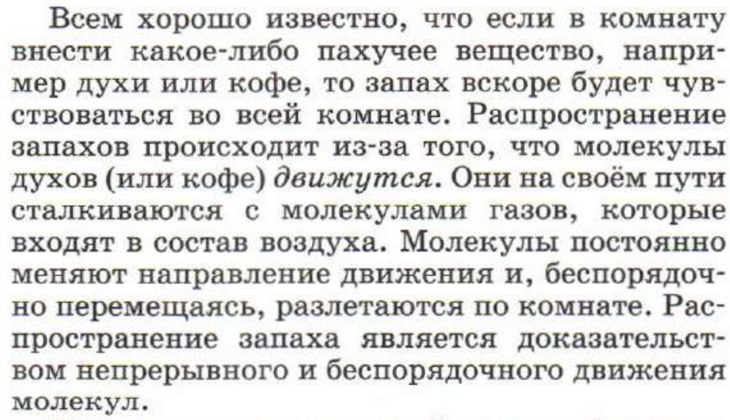
Открытие броуновского движения имело большое значение для изучения строения вещества. Оно показало, что *тела действительно состоят из отдельных частиц — молекул* и что *молекулы находятся в непрерывном беспорядочном движении*.


Вопросы **1.** Что такое броуновская частица? **2.** Что доказывает броуновское движение?

ЗАДАНИЕ

- Небольшое количество молока разбавьте водой. Затем капельку раствора поместите между двумя предметными стёклами. Под микроскопом вы должны увидеть капельки жира, которые находятся в постоянном движении. Объясните наблюдаемое явление.

§ 10 ДИФФУЗИЯ В ГАЗАХ, ЖИДКОСТЯХ И ТВЁРДЫХ ТЕЛАХ

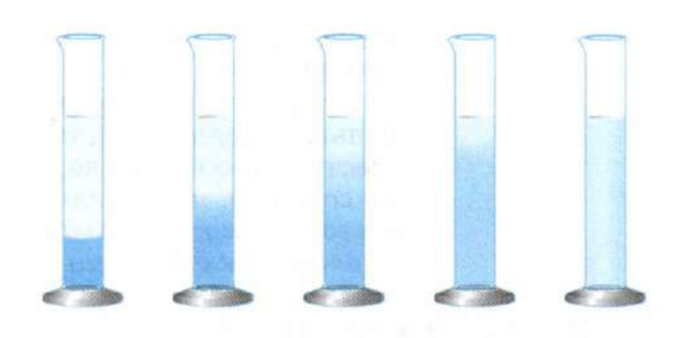

Всем хорошо известно, что если в комнату внести какое-либо пахучее вещество, например духи или кофе, то запах вскоре будет чувствоваться во всей комнате. Распространение запахов происходит из-за того, что молекулы духов (или кофе) *движутся*. Они на своём пути сталкиваются с молекулами газов, которые входят в состав воздуха. Молекулы постоянно меняют направление движения и, беспорядочно перемещаясь, разлетаются по комнате. Распространение запаха является доказательством непрерывного и беспорядочного движения молекул.


Явление диффузии, наблюдаемое в аромалампе

Проделаем опыт, который можно объяснить только тем, что тела состоят из молекул, находящихся в непрерывном движении.

Нальём в мензурку (или стакан) раствор медного купороса, имеющего тёмно-голубой

Рис. 23. Диффузия в жидкостях



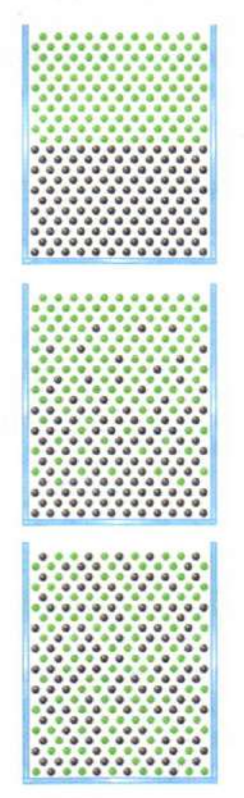


Рис. 24. Размывание границы раздела двух жидкостей при диффузии

цвет. Сверху осторожно добавим чистой воды (рис. 23).

Вначале между водой и медным купоросом будет видна резкая граница, которая через несколько дней станет слегка размытой. Граница, отделяющая одну жидкость от другой, исчезнет через 2—3 недели. В сосуде образуется однородная жидкость бледно-голубого цвета. Это значит, что жидкости перемешались.

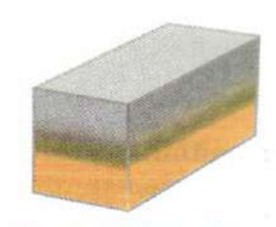
Наблюдаемое явление объясняется тем, что молекулы воды и медного купороса, которые расположены возле границы раздела этих жидкостей, поменялись местами (рис. 24). Граница раздела стала расплывчатой. Молекулы медного купороса оказались в нижнем слое воды, а молекулы воды переместились в верхний слой медного купороса.

Постепенно молекулы медного купороса и воды, двигаясь непрерывно и беспорядочно, распространяются по всему объёму. Жидкость в сосуде становится однородной.

Явление, при котором происходит взаимное проникновение молекул одного вещества между молекулами другого, называют диффузией.

В твёрдых телах также происходит диффузия, но только ещё медленнее.

Например, очень гладко отшлифованные пластинки свинца и золота кладут одна на другую и ставят на них некоторый груз. При комнатной температуре (20 °C) за 4—5 лет золото и


Рис. 25. Диффузия в твёрдых телах

свинец взаимно проникают друг в друга на расстояние около 1 мм (рис. 25). В приведённых опытах мы наблюдаем взаимное проникновение молекул веществ, т. е. *диффузию*.

Процесс диффузии ускоряется с повышением температуры. Это происходит потому, что с повышением температуры увеличивается скорость движения молекул.

Явление диффузии играет большую роль в природе. Так, например, благодаря диффузии поддерживается однородный состав атмосферного воздуха вблизи поверхности Земли. Диффузия растворов различных солей в почве способствует нормальному питанию растений.

? Вопросы 1. Что такое диффузия? 2. Как протекает диффузия в жидкостях? Опишите опыт. 3. Приведите примеры диффузии в окружающем мире. 4. Воду в некоторых случаях очищают путём озонирования, т. е. насыщением её озоном. На каком явлении основан этот метод очистки?

ЗАДАНИЕ

1. Налейте в один стакан холодной воды, в другой — тёплой. Опустите в каждый из них несколько кристалликов марганцовки. Объясните наблюдаемое явление.
2. Пользуясь рисунком 24, объясните процесс протекания диффузии в жидкостях.
3. Если у вас дома имеется комнатное растение, проведите его подкормку путём опрыскивания кроны питательным раствором. Пронаблюдайте, как будет развиваться растение. Объясните, на каком явлении основан такой способ подкормки.


Выращивание кристалла

4. Налейте в стакан воды и поставьте его в кастрюлю с тёплой водой на плиту, поддерживая температуру 50—60 °C. Насыпьте в стакан соль и размешайте, после того как соль растворится, досыпьте её вновь. И так до тех пор, пока не получите насыщенный раствор (т. е. соль не будет растворяться). Теперь раствор перелейте в другую ёмкость, чтобы избавиться от излишков соли на дне. Возьмите самый крупный кристаллик соли, подвесьте его на ниточку и опустите в соляной раствор. Через несколько дней вы увидите, как кристаллик начнёт увеличиваться в размере. На каком явлении основан рост кристаллика?

§ 11 ВЗАИМНОЕ ПРИТЯЖЕНИЕ И ОТТАЛКИВАНИЕ МОЛЕКУЛ

Если все тела состоят из мельчайших частиц (молекул или атомов), почему же твёрдые тела и жидкости не распадаются на отдельные молекулы или атомы? Что заставляет их держаться вместе, ведь молекулы разделены между собой промежутками и находятся в непрерывном беспорядочном движении?

Дело в том, что **между молекулами существует взаимное притяжение.** Каждая молекула притягивает к себе все соседние молекулы и сама притягивается ими.

Когда мы разрываем нить, ломаем палку или отрываем кусочек бумаги, то преодолеваем силы притяжения между молекулами.

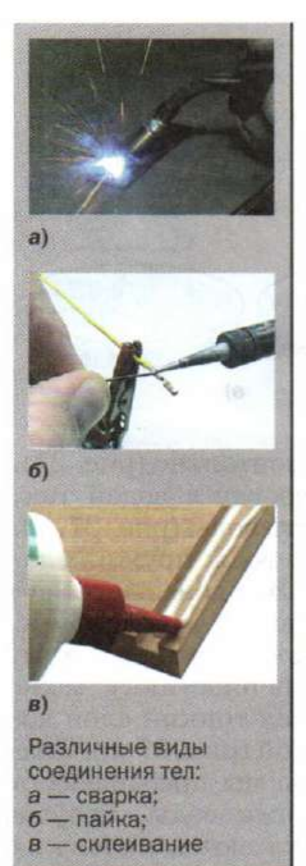
Заметить притяжение между двумя молекулами совершенно невозможно. Когда же притягиваются многие миллионы таких частиц, взаимное притяжение становится значительным. Поэтому трудно разорвать руками верёвку или стальную проволоку.

Притяжение между молекулами в разных веществах неодинаково. Этим объясняется различная прочность тел. Например, стальная проволока прочнее медной. Это значит, что частицы стали притягиваются сильнее друг к другу, чем частицы меди.

Притяжение между молекулами становится заметным только тогда, когда они находятся очень близко друг к другу. На расстоянии, превышающем размеры самих молекул, притяжение ослабевает. Две капли воды сливаются в одну, если они соприкасаются. Два свинцовых цилиндра сцепляются вместе, если их вплотную прижать друг к другу ровными, только что срезанными поверхностями. При этом сцепление может быть настолько прочным, что цилиндры не удаётся оторвать друг от друга даже при большой нагрузке (рис. 26).



Рис. 26. Сцепление свинцовых цилиндров



а)

б)

в)

Различные виды соединения тел:
а — сварка;
б — пайка;
в — склеивание

Однако осколки стекла нельзя срастить, даже плотно прижимая их. Из-за неровностей не удаётся их сблизить на то расстояние, на котором частицы могут притянуться друг к другу. Но если размягчить стекло путём нагрева, то различные части можно сблизить и стекло в этом случае спаивается.

Это значит, что частицы стекла оказались на таком расстоянии, когда действует притяжение между ними.

Соединение кусков металла при сварке или пайке, а также склеивание основано на притяжении молекул друг к другу.

Следовательно, между молекулами (атомами) существует взаимное притяжение, которое заметно только на расстояниях, сравнимых с размерами самих молекул (атомов).

Попытаемся выяснить, почему между молекулами имеются промежутки. Если молекулы притягиваются друг к другу, то они должны как бы слипнуться. Этого не происходит, потому что **между молекулами (атомами) в то же время существует отталкивание.**

На расстояниях, сравнимых с размерами самих молекул (атомов), заметнее проявляется притяжение, а при дальнейшем сближении — отталкивание.

Многие наблюдаемые явления подтверждают существование отталкивания между молекулами.

Так, например, сжатое тело распрямляется. Это происходит из-за того, что при сжатии молекулы оказываются на таком расстоянии друг от друга, когда начинает проявляться отталкивание.

Некоторые явления, происходящие в природе, можно объяснить притяжением молекул друг к другу, например *смачивание* твёрдого тела жидкостью.

К пружине подвешивают на нитке стеклянную пластинку так, чтобы её нижняя поверх-

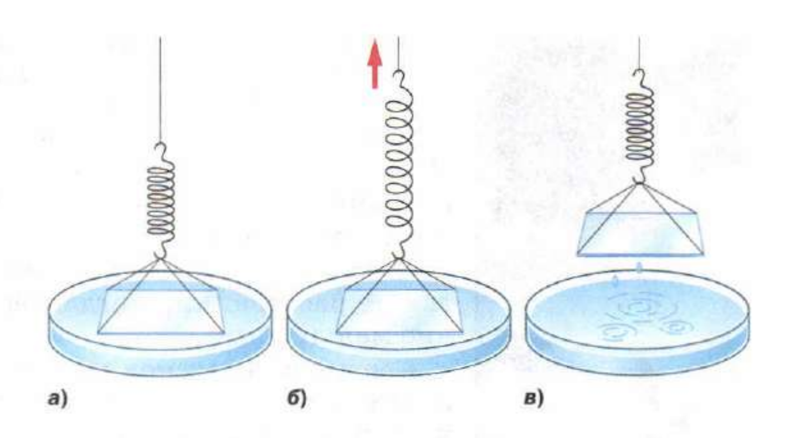
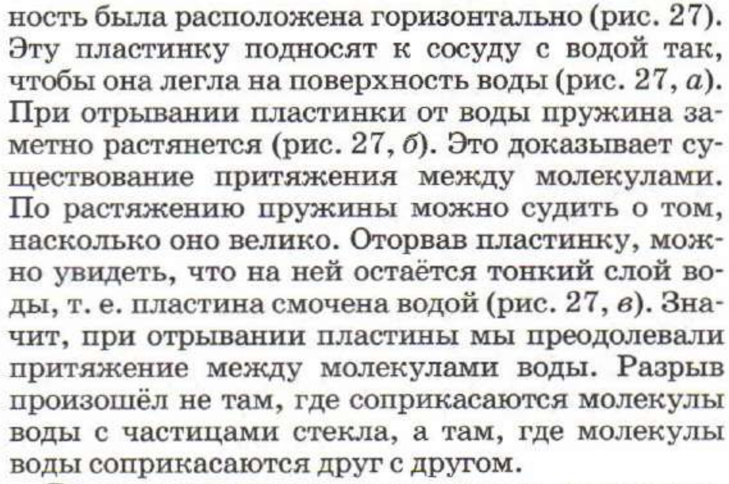
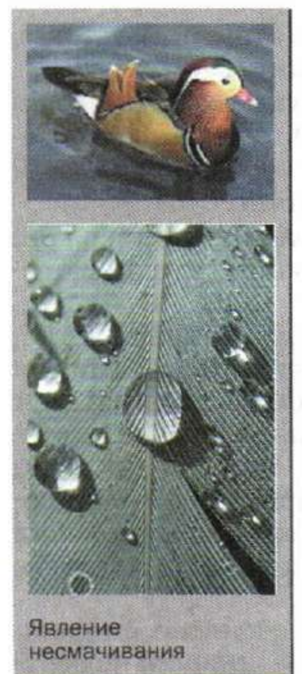


Рис. 27. Явление смачивания тел



ность была расположена горизонтально (рис. 27). Эту пластинку подносят к сосуду с водой так, чтобы она легла на поверхность воды (рис. 27, *а*). При отрывании пластинки от воды пружина заметно растянется (рис. 27, *б*). Это доказывает существование притяжения между молекулами. По растяжению пружины можно судить о том, насколько оно велико. Оторвав пластинку, можно увидеть, что на ней остаётся тонкий слой воды, т. е. пластина смочена водой (рис. 27, *в*). Значит, при отрывании пластины мы преодолевали притяжение между молекулами воды. Разрыв произошёл не там, где соприкасаются молекулы воды с частицами стекла, а там, где молекулы воды соприкасаются друг с другом.



Явление несмачивания

Вода смачивает не только стекло, но и кожу, дерево и другие вещества.

Во многих случаях вода может и не смачивать тела. Например, если опустить в воду кусочек воска или парафина, а затем вынуть, то он окажется сухим. Вам хорошо известно, что вода не смачивает и жирные поверхности тел.

Все приведённые примеры можно легко объяснить.

Если жидкость смачивает твёрдое тело, то это значит, что молекулы жидкости притягиваются друг к другу слабее, чем к молекулам тела.

Когда наблюдается *несмачиваемость*, то это означает, что молекулы жидкости притягива-

ются сильнее друг к другу, чем к молекулам твёрдого тела.

В быту мы часто сталкиваемся с явлениями смачивания и несмачивания.

Так, например, благодаря явлению смачивания мы можем писать, вытирать мокрые предметы и т. д.

? Вопросы

1. Как взаимодействуют между собой молекулы? 2. Когда заметнее проявляется отталкивание, а когда притяжение между молекулами? 3. Какое явление, наблюдаемое в природе, основано на притяжении молекул твёрдого тела и жидкости? 4. У водоплавающих птиц перья и пух остаются сухими. Какое явление здесь наблюдается?

ЗАДАНИЕ

1. Смочите два листочка бумаги: один — водой, другой — растительным маслом. Слипнутся ли они при соприкосновении? Ответ обоснуйте.
2. Кусок мыла сильно прижмите к тарелке, смоченной водой, и проверните несколько раз. Поднимите мыло вверх. Вместе с мылом поднимется и тарелка. Объясните, почему это произошло.

§ 12 АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА



Агрегатные состояния воды

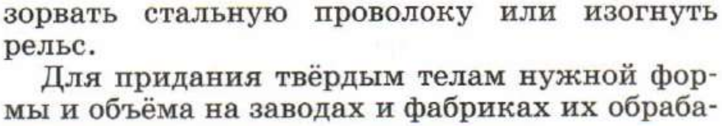
В природе вещества встречаются в трёх **агрегатных состояниях:** в *твёрдом*, *жидком* и *газообразном*.

В различных состояниях вещества обладают разными свойствами. Большинство окружающих нас тел состоят из твёрдых веществ. Это дома, машины, инструменты и др. Форму твёрдого тела можно изменить, но для этого необходимо потрудиться. Например, чтобы согнуть гвоздь, нужно приложить довольно большое усилие.

В обычных условиях трудно сжать или растянуть твёрдое тело. Так, руками невозможно ра-



Рис. 28. Изменение формы жидкости



зорвать стальную проволоку или изогнуть рельс.

Для придания твёрдым телам нужной формы и объёма на заводах и фабриках их обрабатывают на специальных станках: токарных, строгальных, шлифовальных.

Твёрдое тело имеет собственную форму и объём.

В отличие от твёрдых тел жидкости легко меняют свою форму. Они принимают форму сосуда, в котором находятся.

Например, вода, наполняющая кувшин, имеет форму кувшина. Налитая же в стакан (бутылку), она принимает форму стакана (бутылки) (рис. 28). Но, изменяя форму, жидкость сохраняет свой объём.

В обычных условиях только маленькие капельки жидкости имеют свою форму — форму шара. Это, например, капли дождя или капли, на которые разбивается струя жидкости.

На свойстве жидкости легко изменять свою форму основано изготовление предметов из расплавленного стекла (рис. 29).

Жидкости легко меняют свою форму, но сохраняют объём.

Воздух, которым мы дышим, является газообразным веществом, или газом. Поскольку большинство газов бесцветны и прозрачны, то они невидимы.

Присутствие воздуха можно почувствовать, стоя у открытого окна движущегося поезда. Его наличие в окружающем пространстве можно ощутить при возникновении в комнате сквозняка, а также доказать с помощью простых опытов.



Рис. 29. Выдувание вазы из жидкого стекла

Если стакан перевернуть вверх дном и попытаться опустить его в воду, то вода в стакан не войдёт, поскольку он заполнен воздухом. Теперь опустим в воду воронку, которая соединена резиновым шлангом со стеклянной трубочкой (рис. 30). Воздух из воронки начнёт выходить через эту трубочку.

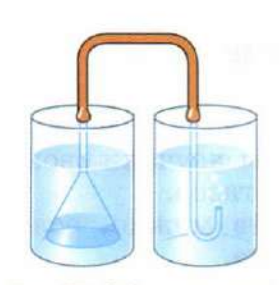


Рис. 30. Обнаружение воздуха в окружающем пространстве

Эти и многие другие примеры и опыты подтверждают, что в окружающем пространстве имеется воздух.

Газы в отличие от жидкостей легко изменяют свой объём. Когда мы сжимаем теннисный мячик, то тем самым меняем объём воздуха, наполняющего мяч. Газ, помещённый в закрытый сосуд, занимает весь его целиком. Нельзя газом заполнить половину бутылки так, как это можно сделать жидкостью.

Газы не имеют собственной формы и постоянного объёма. Они принимают форму сосуда и полностью заполняют предоставленный им объём.

Одно и то же вещество может находиться в различных агрегатных состояниях. Например, вода может находиться в твёрдом (лёд), жидком (вода) и газообразном (водяной пар) состояниях. В хорошо знакомом вам градуснике ртуть — это жидкость. Над поверхностью ртути находятся её пары, а при температуре −39 °С она превращается в твёрдое тело, поэтому ртутные термометры в тех случаях, где температура бывает ниже −39 °С, не применяются.

Учёные установили, что некоторые вещества, имеющиеся на Земле, встречаются и на других планетах нашей Солнечной системы[1]. Там они также находятся в твёрдом, жидком или газообразном состояниях. Например, на Марсе была обнаружена глина, богатая железом, а также вода в виде льда. На Юпитере водород, входящий в состав верхних слоёв атмосферы, находится в газообразном состоянии, а по мере погружения в недра планеты переходит в жидкое, а затем твёрдое состояние.



1. Какие три состояния вещества вам известны? 2. Перечислите свойства твёрдых тел. 3. Назовите свойства жидкостей. 4. Какими свойствами обладают газы?

[1] В состав Солнечной системы входят восемь планет с их спутниками, тысячи малых планет (астероидов), кометы и частички пыли, которые обращаются вокруг Солнца.

§ 13 РАЗЛИЧИЕ В МОЛЕКУЛЯРНОМ СТРОЕНИИ ТВЁРДЫХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

В предыдущем параграфе вы изучали свойства твёрдых тел, жидкостей и газов.

Объяснить свойства веществ можно, если знать их молекулярное строение.

Одно и то же вещество может находиться в различных состояниях.

Так, например, вода, замерзая, становится твёрдым телом (лёд), а при кипении обращается в газообразное состояние (пар). Это три состояния одного и того же вещества (воды) — жидкое, твёрдое и газообразное. А если все три состояния воды — это состояния одного и того же вещества, значит, и молекулы его не отличаются друг от друга. Отсюда можно сделать вывод, что различные свойства вещества во всех состояниях определяются тем, что его молекулы расположены иначе и движутся по-разному.

Если газ сжимается и объём его уменьшается, следовательно, *в газах расстояние между молекулами намного больше размеров самих молекул*. Поскольку в среднем расстояния между молекулами в десятки раз больше размера молекул, то они слабо притягиваются друг к другу.

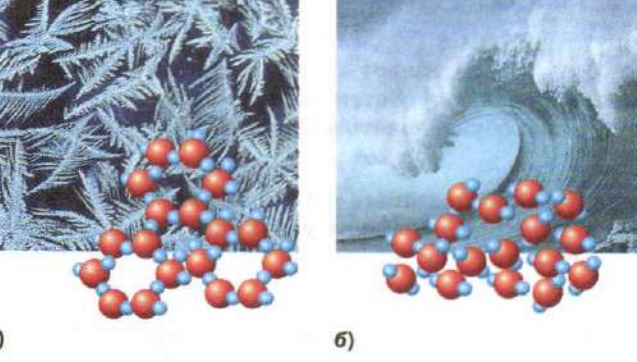
Молекулы газа, двигаясь во всех направлениях, почти не притягиваются друг к другу и заполняют весь сосуд. Газы не имеют собственной формы и постоянного объёма.

Молекулы жидкости расположены близко друг к другу. Расстояния между каждыми двумя молекулами меньше размеров молекул, поэтому притяжение между ними становится значительным.

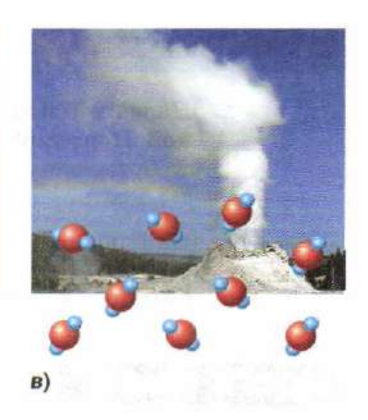
Молекулы жидкости не расходятся на большие расстояния, и жидкость в обычных условиях сохраняет свой объём, но не сохраняет форму.



а)



б)



в)

Рис. 31. Расположение молекул воды:
а — во льду;
б — воде;
в — в водяном паре

Поскольку притяжение между молекулами жидкости не так велико, то они могут скачками менять своё положение. Жидкость не сохраняет свою форму и принимает форму сосуда. Они *текучи*, их легко перелить из одного сосуда в другой.

Жидкость трудно сжимается, так как при этом молекулы сближаются на расстояние, когда заметно проявляется отталкивание.



Модель кристаллической решётки железа

В твёрдых телах притяжение между молекулами (атомами) ещё больше, чем у жидкостей. Поэтому в обычных условиях твёрдые тела сохраняют свою форму и объём.

В твёрдых телах молекулы (атомы) расположены в определённом порядке. Это лёд, соль, металлы и др. Такие тела называются *кристаллами*.

Молекулы или атомы твёрдых тел колеблются около определённой точки и не могут далеко переместиться от неё. Твёрдое тело поэтому сохраняет не только объём, но и форму.

Расположение молекул воды в трёх разных состояниях показано на рисунке 31: газообразном — водяной пар (рис. 31, *в*), жидком — вода (рис. 31, *б*) и твёрдом — лед (рис. 31, *а*).

? Вопросы

1. Каково расположение молекул газа? 2. Чем объясняется способность жидкостей сохранять свой объём? 3. Как расположены частицы в твёрдых телах?

ЗАДАНИЕ

1. Налейте в пластмассовую бутылку воды до верху и закройте крышкой. Попытайтесь сжать в ней воду. Затем вылейте воду, снова закройте бутылочку. Теперь попробуйте сжать воздух. Объясните результаты опыта.

2. На блюдце с холодной водой поставьте перевёрнутый очень тёплый стакан. Через 15—20 мин проследите за уровнем воды в стакане и блюдце. Объясните результат опыта.

ИТОГИ ГЛАВЫ

САМОЕ ГЛАВНОЕ

- Все вещества состоят из мельчайших частиц: *атомов, молекул, ионов*.
- Частицы вещества находятся в непрерывном хаотическом движении.
- Молекулы одного вещества при соприкосновении могут проникать в межмолекулярные промежутки другого вещества, т. е. происходит *диффузия*.
- Между молекулами вещества существует взаимодействие — *взаимное притяжение и отталкивание*.
- В природе вещество может находиться в одном из трёх агрегатных состояний: *твёрдом, жидком, газообразном*.

ПРОВЕРЬ СЕБЯ

1. Мельчайшей частицей вещества, сохраняющей его свойства, является
   А. атом
   Б. молекула
   В. броуновская частица
   Г. кислород

2. Броуновское движение — это...
   А. хаотическое движение очень мелких твёрдых частиц, находящихся в жидкости
   Б. хаотическое проникновение частиц друг в друга
   В. упорядоченное движение твёрдых частиц, находящихся в жидкости
   Г. упорядоченное движение молекул жидкости

3. Диффузия может проходить...
   А. только в газах
   Б. только в жидкостях и газах
   В. только в жидкостях
   Г. в жидкостях, газах и твёрдых телах
4. Не имеют собственной формы и постоянного объёма...
   А. жидкости
   Б. газы
   В. твёрдые тела
   Г. жидкости и газы
5. Между молекулами существует...
   А. только взаимное притяжение
   Б. только взаимное отталкивание
   В. взаимное притяжение и отталкивание
   Г. не существует взаимодействия
6. Диффузия протекает быстрее
   А. в твёрдых телах
   Б. в жидкостях
   В. газах
   Г. во всех телах одинаково

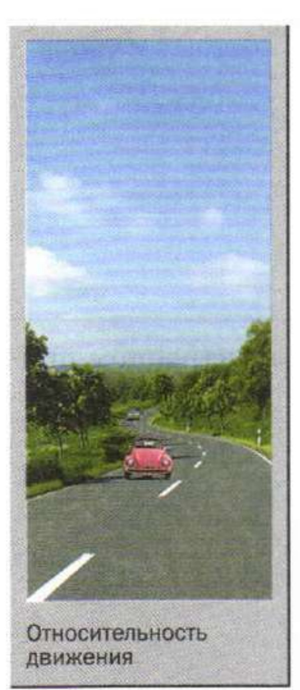


Выполните задания, предложенные в электронном приложении.

Глава 2

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

§ 14 МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ


Относительность движения

Движение тел мы наблюдаем повсюду: плывут облака, качаются ветки деревьев, падают снежинки, летит самолёт и т. д. Когда мы говорим о движении тела, то всегда имеем в виду, что оно перемещается относительно других тел. Если вдали на дороге виден автомобиль, то определить, движется он или нет, трудно. Для того чтобы узнать, движется автомобиль или нет, проследим, как меняется его положение относительно других тел. Например, полотна дороги, домов, деревьев. Если положение автомобиля меняется относительно этих тел, то говорят, что он движется *относительно* этих тел.

Подобным образом мы определяем, движется или нет поезд, самолёт, человек и др.

Итак, **чтобы судить о движении тела, надо узнать, меняется ли положение этого тела среди окружающих его тел.**

Если положение автомобиля меняется *относительно* домов или деревьев, то говорят, что он движется *относительно* этих тел. Если же положение движущегося автомобиля не меняется *относительно*, например, движущегося поезда, то автомобиль и поезд *относительно друг друга* не движутся, а находятся в *состоянии покоя*.

Изменение с течением времени положения тела относительно других тел называется механическим движением.



Рис. 32. Примеры механического движения

Сидя в поезде, мы движемся относительно полотна железной дороги, но относительно вагона находимся в покое. Поэтому, говоря о движении тела, обязательно указывают, относительно каких тел происходит это движение.

Наиболее часто мы будем рассматривать движение тел относительно Земли. При этом надо помнить, что и сама Земля вращается как вокруг своей оси, так и вокруг Солнца. Солнце, в свою очередь, движется относительно многочисленных звёзд.



Рис. 33. След метеора

Движение относительно Земли человека, автомобиля, самолёта (рис. 32), колебания маятника, течение воды, перемещение воздуха (ветер) — всё это примеры механического движения. Перемещение отдельной молекулы, даже отдельного атома также является механическим движением.

Изменяя своё положение в пространстве, переходя из одного места в другое, тело движется по некоторой линии, которую называют **траекторией** движения тела. Траектория может быть видимой, как, например, светящийся след метеора в ночном небе (рис. 33), или невидимой, как при полёте птицы. По форме она может быть *прямой* или *кривой*.

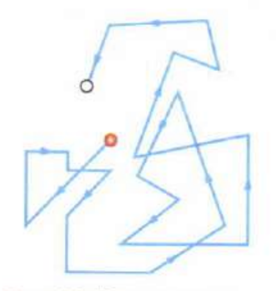


Рис. 34. Траектория движения молекулы

Траектория движения молекулы газа — *ломаная* линия (рис. 34). Длина этой траектории — сумма длин всех отрезков. Траектория движения лыжника, прыгающего с трамплина, — кривая линия (рис. 35). Её длина измеряется от точки отрыва O до точки приземления A, но не по прямой, а следуя траектории движения.

Длина траектории, по которой движется тело в течение некоторого промежутка времени, называется путём.



Рис. 35. Траектория движения лыжника

Так, длина траектории OA — это путь, пройденный лыжником за время спуска с горы (см. рис. 35).

Путь обозначают буквой s.

Путь — это физическая величина, которую можно измерить. Часто это сделать непросто, например в случае движения молекулы.

Основной единицей пути в Международной системе (СИ) является *метр* **(м)**. Используются и другие единицы длины: *миллиметр* **(мм)**, *сантиметр* **(см)**, *дециметр* **(дм)** и *километр* **(км)**.

1 мм = 0,001 м; 1 дм = 0,1 м;
1 см = 0,01 м; 1 км = 1000 м.

 **Вопросы**

1. Что называется механическим движением? 2. Почему указывают, относительно каких тел движется тело? 3. Что называют путём, пройденным телом? 4. Приведите примеры тел, движущихся относительно Земли; неподвижных относительно Земли. 5. Какую траекторию оставляет в небе реактивный самолёт?

УПРАЖНЕНИЕ 2

1. Самый высокий небоскрёб в России «Триумф-Паласс» — 264 м. Выразите его высоту в км.
2. Воспользовавшись Интернетом, найдите самый длинный автомобиль в мире. Его длину запишите в м, а затем переведите в км.
3. С помощью Интернета найдите высоту Исаакиевского собора в Санкт-Петербурге и колокольни Ивана Великого в Москве. Найдите разницу высот и запишите её значение в единицах СИ.
4. Длина капилляров в теле человека составляет около 100 000 км. Запишите их длину в м.
5. Почему во время снежной метели трудно указать, движется поезд или нет?

ЗАДАНИЕ

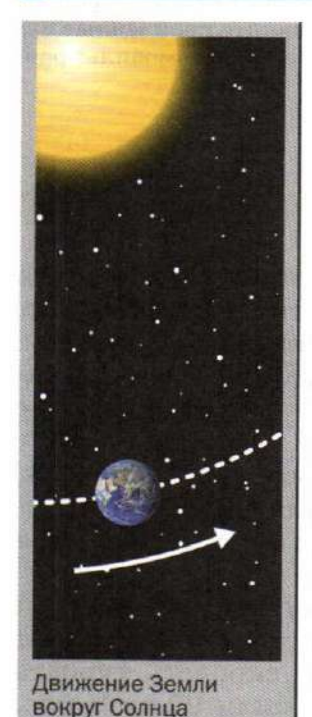
1. Измерьте среднюю длину своего шага. Пользуясь этой мерой, определите путь, который вы проходите от своего дома до ближайшей остановки автобуса.
2. Зарисуйте траекторию движения звёздочек салюта: в первый момент после выстрела и после вспышки.

3. Используя географическую карту мира, вспомните, как проходил путь путешественника Афанасия Никитина во время его «хождения за три моря» и путь Васко да Гама во время путешествия в Индию. На глаз оцените, во сколько раз отличаются длины путей, проделанных А. Никитиным и Васко да Гамой.

§ 15 РАВНОМЕРНОЕ И НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Рассмотрим движение автомобиля. Например, если автомобиль за каждую четверть часа (15 мин) проходит 20 км, за каждые полчаса (30 мин) — 40 км, за каждый час (60 мин) — 80 км и т. д., то говорят, что он движется равномерно.

Если тело за любые равные промежутки времени проходит равные пути, то его движение называют равномерным.


Движение Земли вокруг Солнца

Равномерное движение встречается очень редко. Почти равномерно движется Земля вокруг Солнца, проходя приблизительно равные пути за одинаковое время, — за каждый год она делает ровно один оборот.

Практически никогда водителю автомобиля не удаётся поддерживать равномерность движения — по разным причинам приходится ехать то быстрее, то медленнее. Движение стрелок часов (минутной и часовой) только кажется равномерным, в чём легко убедиться, наблюдая за движением секундной стрелки. Она то движется, то останавливается. Точно так же движутся и две остальные стрелки, только медленно, и поэтому их рывков не видно. Неравномерным является также движение молекул газа. Они, ударяясь друг о друга, на какое-то мгновение останавливаются, затем снова разгоняются. При следующих столкновениях, уже с другими молекулами, они снова замедляют своё движение в пространстве.

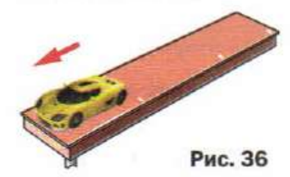
Всё это примеры *неравномерного* движения. Так движется поезд, отходя от станции, прохо-

дя за *одинаковые* промежутки времени всё *большие* и *большие* пути. Лыжник или конькобежец проходят на соревнованиях *равные* пути за *различное* время. Так движутся взлетающий самолёт, открываемая дверь, падающая снежинка.

Если тело за равные промежутки времени проходит разные пути, то его движение называют неравномерным.


Вопросы 1. Какое движение называют равномерным? 2. Какое движение называют неравномерным? 3. Приведите примеры неравномерного движения.


ЗАДАНИЕ


Рис. 36

- Запустите игрушечный автомобиль и одновременно мелком на столе отмечайте путь, который пройдёт машинка через каждые 3 с. Сравните пройденные пути и сделайте вывод, как двигался автомобиль: равномерно или неравномерно.

§ 16 СКОРОСТЬ. ЕДИНИЦЫ СКОРОСТИ

Мы часто говорим, что одни тела движутся быстрее, другие медленнее. Например, по шоссе шагает турист, мчится автомобиль, в воздухе летит самолёт. Допустим, что все они движутся равномерно, тем не менее движение этих тел будет отличаться.

Автомобиль движется быстрее пешехода, а самолёт быстрее автомобиля. В физике величиной, характеризующей быстроту движения тел, является **скорость**.

Предположим, что турист за 1 ч проходит 5 км, автомобиль 90 км, а самолёт пролетает 850 км. Тогда говорят, что скорость туриста 5 км в час, скорость автомобиля 90 км в час, а скорость самолёта 850 км в час.


Скорость горнолыжника при спуске может достигать 130 км/ч


Скорость велосипедиста на треке достигает 60 км/ч

Скорость при равномерном движении тела показывает, какой путь оно прошло в единицу времени.

Таким образом, используя понятие скорости, мы можем теперь сказать, что турист, автомобиль и самолёт движутся с различными скоростями.

При равномерном движении скорость тела остаётся *постоянной*.

Если велосипедист проезжает в течение 5 с путь, равный 25 м, то его скорость будет равна $\frac{25\ \text{м}}{5\ \text{с}} = 5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ (5 метров в секунду).

скорость = $\frac{\text{путь}}{\text{время}}$

Чтобы определить скорость при равномерном движении, надо путь, пройденный телом за какой-то промежуток времени, разделить на этот промежуток времени.

Скорость обозначают буквой v, путь — s, время — t.

Формула для нахождения скорости будет иметь вид:

$$v = \frac{s}{t}.$$

Скорость тела при равномерном движении — это величина, равная отношению пути ко времени, за которое этот путь пройден.

$v = \frac{s}{t}$

В Международной системе (СИ) скорость измеряют в *метрах в секунду* $\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$.

Это значит, что *за единицу скорости принимается скорость такого равномерного движения, при котором за 1 секунду тело проходит путь, равный 1 метру.*

Скорость тела можно измерять также в *километрах в час* $\left(\frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)$; *километрах в секунду* $\left(\frac{\text{км}}{\text{с}}\right)$; *сантиметрах в секунду* $\left(\frac{\text{см}}{\text{с}}\right)$.


Движущийся поезд

Пример. Поезд, двигаясь равномерно, за 2 ч проходит путь, равный 108 км. Вычислите скорость движения поезда.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	Решение:
$s = 108$ км $t = 2$ ч	$v = \frac{s}{t}$,
v — ?	$v = \frac{108}{2}\,\frac{\text{км}}{\text{ч}} = 54\,\frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

Выразим скорость поезда в единицах СИ, т. е. километры переведём в метры, а часы в секунды:

$$54\,\frac{\text{км}}{\text{ч}} = \frac{54\,000}{3600}\,\frac{\text{м}}{\text{с}} = 15\,\frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ: $v = 54\,\frac{\text{км}}{\text{ч}}$, или $15\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Таким образом, **числовое значение скорости зависит от выбранной единицы.**

$$1\,\frac{\text{м}}{\text{с}} = 1 \cdot \left(\frac{1}{1000}\,\text{км}\right) : \left(\frac{1}{3600}\,\text{ч}\right) = \frac{3600}{1000}\,\frac{\text{км}}{\text{ч}} = 3{,}6\,\frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

$$1\,\frac{\text{км}}{\text{ч}} = 1 \cdot \frac{1000\,\text{м}}{3600\,\text{с}}$$

Скорость, кроме числового значения, имеет и направление.

Если требуется узнать, где будет находиться через 2 ч самолёт, вылетевший из Владивостока, то необходимо знать не только значение его скорости, но и её направление.

Величины, которые, кроме числового значения (модуля), имеют ещё и направление, называют **векторными**.

Скорость — это *векторная физическая величина*.

Все векторные величины обозначают соответствующими буквами со стрелочкой. Например, скорость обозначается буквой $\vec{v}$ со стре-

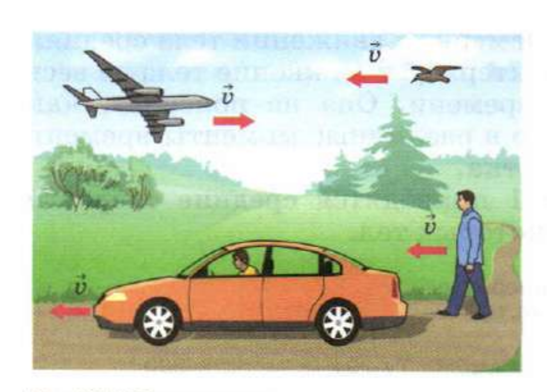


Рис. 37. Обозначение скорости на рисунках

лочкой, а её значение — модуль скорости той же буквой, но без стрелочки v.

На рисунках стрелкой показывают направление скорости, т. е. направление движения тела (рис. 37).

Некоторые физические величины не имеют направления. Они характеризуются только числовым значением. Это путь, время, объём, длина и др. Они являются **скалярными величинами**.

Если при движении тела его скорость изменяется от одного участка пути к другому, то такое движение является *неравномерным*.

Для характеристики неравномерного движения тела вводят понятие **средней скорости**.

Например, поезд от Москвы до Санкт-Петербурга идёт со скоростью 80 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Какую скорость имеют в виду? Ведь скорость поезда на остановках равна нулю, после остановки — увеличивается, а перед следующей остановкой — уменьшается.

В данном случае поезд движется неравномерно, а значит, скорость, равная 80 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$, — это средняя скорость движения поезда.

Она определяется почти так же, как и скорость при равномерном движении.

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{t}$$

Чтобы определить среднюю скорость тела при неравномерном движении, надо **весь пройденный путь** *разделить на* **всё время** *движения:*

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{t}.$$

Следует напомнить, что только при равномерном движении отношение $\frac{s}{t}$ за любой промежуток времени будет постоянно.

При неравномерном движении тела средняя скорость характеризует движение тела за весь промежуток времени. Она не поясняет, как двигалось тело в различные моменты времени этого промежутка.

В таблице 1 приводятся средние скорости движения некоторых тел.

Таблица 1. Средние скорости движения некоторых тел, скорость звука, радиоволн и света, м/с

Улитка	0,0014	Самолёт Ту-204	230
Черепаха	0,05—0,14	Звук в воздухе при 0 °C	332
Муха комнатная	5	Пуля автомата Калашникова (при вылете из ствола)	760
Пешеход	1,3	Луна вокруг Земли	1000
Конькобежец	До 13	Молекула водорода (при 0 °C)	1693
Скворец	20	Молекула водорода (при 25 °C)	1770
Страус	22	Искусственный спутник Земли	8000
Скоростной поезд «Сапсан»	69	Земля вокруг Солнца	30 000
Автомобиль «Лада»	20	Свет и радиоволны	Около 300 000 000

? Вопросы

1. Что показывает скорость тела при равномерном движении? 2. По какой формуле определяют скорость тела, если известен его путь и время, за которое он пройден? 3. Какова единица измерения скорости в СИ? 4. Чем, кроме числового значения, характеризуется скорость тела? 5. Как определяют среднюю скорость при неравномерном движении?

УПРАЖНЕНИЕ 3

1. Выразите скорости тел: $90\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ и $36\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ в $\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

2. Поезд идёт со скоростью $72\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Выразите его скорость в $\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

3. Гоночный автомобиль за 10 мин проезжает путь, равный 50 км. Определите его среднюю скорость.

4. Лучшие конькобежцы дистанцию 1500 м пробегают за 1 мин 52,5 с. С какой средней скоростью они проходят эту дистанцию?

5. Лыжник, спускаясь с горы, проходит 50 м за 5 с. Спустившись с горы и продолжая двигаться, он до полной остановки проходит ещё 30 м за 15 с. Найдите среднюю скорость лыжника за всё время движения.

ЗАДАНИЕ

- Найдите с помощью Интернета фамилии советских лётчиков, совершивших впервые в мире беспосадочный перелёт Москва—Северный полюс—США. Известно, что расстояние 8582 км они пролетели за 63 ч 16 мин. Определите, с какой скоростью летел самолёт.

§ 17 РАСЧЁТ ПУТИ И ВРЕМЕНИ ДВИЖЕНИЯ

$s = vt$

Если известны скорость тела и время при равномерном движении, то можно найти пройденный им путь.

Поскольку $v = \frac{s}{t}$, то путь определяют по формуле

$$s = vt.$$

Чтобы определить путь, пройденный телом при равномерном движении, надо скорость тела умножить на время его движения.

$t = \frac{s}{v}$

Теперь, зная, что $s = vt$, можно найти время, в течение которого двигалось тело, т. е.

$$t = \frac{s}{v}.$$

Чтобы определить время при равномерном движении, надо путь, пройденный телом, разделить на скорость его движения.

Если тело движется неравномерно, то, зная его среднюю скорость движения и время, за

которое происходит это движение, находят путь:

$$s = v_{ср}t.$$

Пользуясь этой формулой, можно определить время при неравномерном движении тела:

$$t = \frac{s}{v_{ср}}.$$



Вопросы 1. Как определить путь: а) при равномерном движении тела; б) при неравномерном движении тела? 2. Как определить время: а) при равномерном движении тела; б) при неравномерном движении тела?

УПРАЖНЕНИЕ 4

1. Пользуясь таблицей 1, найдите скорости страуса, автомобиля, искусственного спутника Земли. Определите пути, пройденные ими за 5 с.
2. На велосипеде можно без особого напряжения ехать со скоростью $3 \frac{м}{с}$. На какое расстояние можно уехать за 1,5 ч?
3. На рисунке 38 показан график зависимости пути равномерного движения тела от времени (s — ось пройденного пути, t — ось времени). По этому графику найдите, чему равен путь, пройденный телом за 2 ч. Затем рассчитайте скорость тела.
4. График зависимости скорости равномерного движения тела от времени представлен на рисунке 39. По этому графику определите скорость движения тела. Рассчитайте путь, который пройдёт тело за 2 ч, 4 ч.
5. По графикам зависимости путей от времени (рис. 40) двух тел, движущихся равномерно, определите скорости этих тел. Скорость какого тела больше?

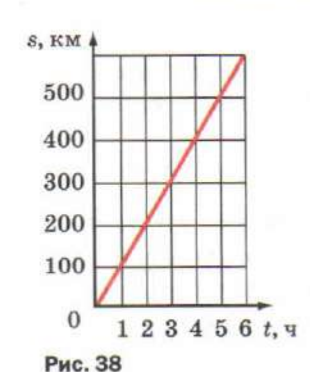


Рис. 38

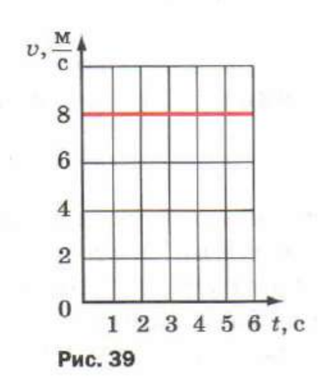


Рис. 39

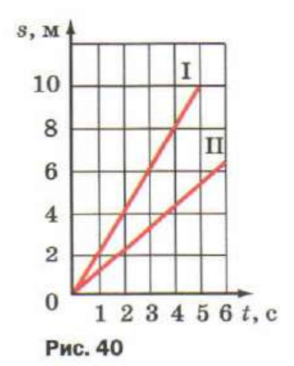


Рис. 40

ЗАДАНИЕ

- На сайте www//nows.gismeteo.ru найдите информацию о самых крупных цунами за последние 10 лет. Известно, что скорость распространения цунами достигает 500 км/ч и волна врывается на сушу на 10 км. Найдите время, за которое цунами может пройти это расстояние.

§ 18 ИНЕРЦИЯ

Наблюдения и опыты показывают, что скорость тела сама по себе измениться не может.

Футбольный мяч лежит на поле. Ударом ноги футболист приводит его в движение. Но сам мяч не изменит свою скорость и не начнёт двигаться, пока на него не подействуют другие тела. Пуля, вложенная в ружье, не вылетит до тех пор, пока её не вытолкнут пороховые газы.

Таким образом, и мяч, и пуля не меняют свою скорость, пока на них не подействуют другие тела.

Футбольный мяч, катящийся по земле, останавливается из-за трения о землю.


Изменение скорости движения мяча под действием удара футболиста

Пуля, прошедшая сквозь фанерную мишень, уменьшает свою скорость, так как на неё подействовала мишень.

Тело уменьшает свою скорость и останавливается не само по себе, а под действием других тел.

Под действием другого тела происходит также изменение направления скорости.

Теннисный мяч меняет направление движения в результате удара о ракетку. Шайба после удара о клюшку хоккеиста также изменяет направление движения. Направление движения молекулы газа меняется при соударении её с другой молекулой или со стенками сосуда.


Изменение скорости движения шайбы после удара клюшкой

Значит, **изменение скорости тела (величины и направления) происходит в результате действия на него другого тела.**

Проделаем опыт. Установим наклонно на столе доску. Насыплем на стол, на небольшом расстоянии от конца доски, горку песка. Поместим на наклонную доску тележку. Тележка, скатившись с доски на стол и попав в песок, быстро останавливается (рис. 41, *а*). На своём пути тележка встречает препятствие в виде горки песка. Скорость тележки уменьшается очень быстро. Её движение неравномерно.

Выровняем песок и вновь отпустим тележку с прежней высоты. Теперь тележка пройдёт большее расстояние по столу, прежде чем остановится (рис. 41, *б*).

Её скорость изменяется медленнее, а движение становится ближе к равномерному.

Если совсем убрать песок с пути тележки, то препятствием её движению будет только трение о стол. Тележка до остановки пройдет ещё большее расстояние (рис. 41, *в*). В этом случае её скорость уменьшается ещё медленнее, а движение становится ещё ближе к равномерному.

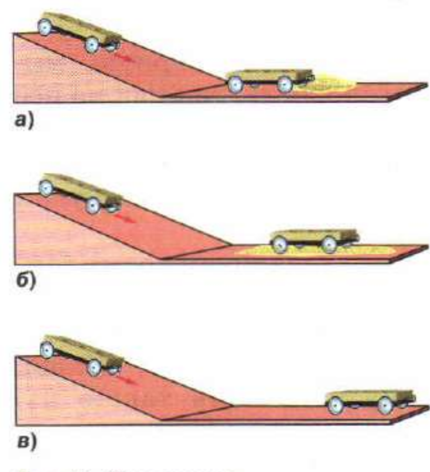


Рис. 41. Изменение скорости движения тела

Итак, **чем меньше действие другого тела на тележку, тем дольше сохраняется скорость её движения и тем ближе оно к равномерному.**

Как же будет двигаться тело, если на него совсем не будут действовать другие тела? Можно ли это установить на опыте? Тщательные опыты по изучению движения тел были впервые проведены Г. Галилеем. Они позволили установить, что если на тело не действуют другие тела, то оно находится или в покое, или движется прямолинейно и равномерно относительно Земли.

Явление сохранения скорости тела при отсутствии действия на него других тел называют инерцией.

(Инерция — от лат. *инерциа* — неподвижность, бездеятельность.)

Таким образом, движение тела при отсутствии действия на него других тел называют движением по **инерции**.

Например, пуля, вылетевшая из ружья, продолжала бы двигаться, сохраняя свою скорость, если бы на неё не действовало другое тело — воздух. Вследствие этого скорость пули уменьшается. Велосипедист, перестав работать педалями, продолжает двигаться. Он смог бы сохранить скорость своего движения, если бы на велосипед не действовало трение. Следовательно, скорость его уменьшается и он останавливается.

Итак, **если на тело не действуют другие тела, то оно находится в покое или движется с постоянной скоростью.**



1. В результате чего меняется скорость тела? Приведите примеры. 2. Какой опыт показывает, как изменяется скорость тела при возникновении препятствия? 3. Что называется инерцией? 4. Как движется тело, если на него не действуют другие тела?

УПРАЖНЕНИЕ 5

1. Встряхните медицинский термометр. Почему показание столбика ртути начинает падать?
2. Почему при езде на автомобиле необходимо пристёгивать ремни безопасности?

ЗАДАНИЕ

- На плотную салфетку положите две монетки, а на них перевёрнутый стакан. Третью монетку, меньшего размера и толщины, положите между ними. Достаньте маленькую монетку, не прикасаясь к стакану и монетам и не используя других предметов.

§ 19 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

Вам уже известно, что при неравномерном движении скорость тела меняется с течением времени. Изменение скорости тела происходит под действием другого тела.

Проделаем опыт. К тележке прикрепим упругую пластинку. Затем изогнём её и свяжем нитью. Тележка относительно стола находится в покое (рис. 42, *а*). Придёт ли тележка в движение, если упругая пластинка выпрямится?

Чтобы проверить это, пережжём нить. Пластинка выпрямится. Тележка же остаётся на прежнем месте (рис. 42, *б*).

Изменим условия опыта: вплотную к согнутой пластинке поставим ещё одну такую же тележку (рис. 43, *а*). Вновь пережжём нить. После этого обе тележки приходят в движение относительно стола. Они разъезжаются в разные стороны (рис. 43, *б*).

Чтобы изменить скорость тележки, понадобилось второе тело. Опыт показал, что скорость тела меняется только в результате действия на него другого тела (второй тележки). В нашем опыте мы наблюдали, что в движение пришла и вторая тележка. Обе стали двигаться относительно стола.

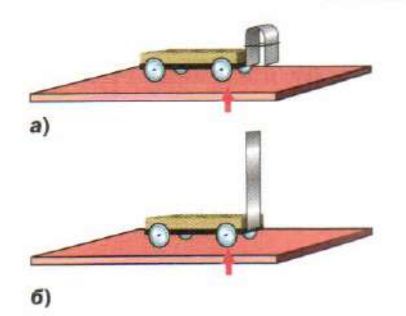


Рис. 42. Скорость тележки в отсутствие взаимодействия не изменяется

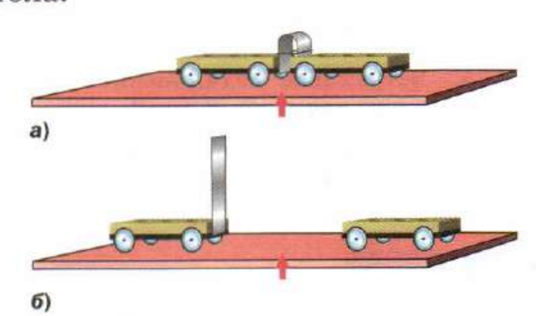


Рис. 43. Изменение скорости движения тележек при взаимодействии

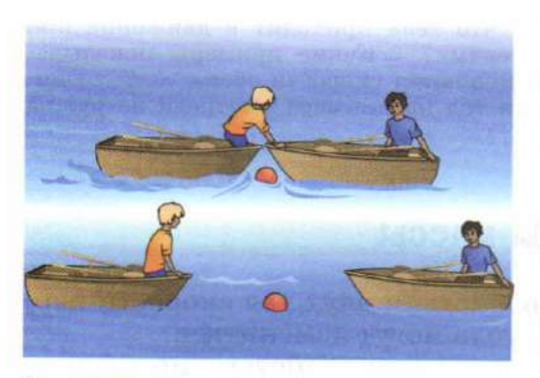


Рис. 44. Изменение скорости лодок в результате взаимодействия

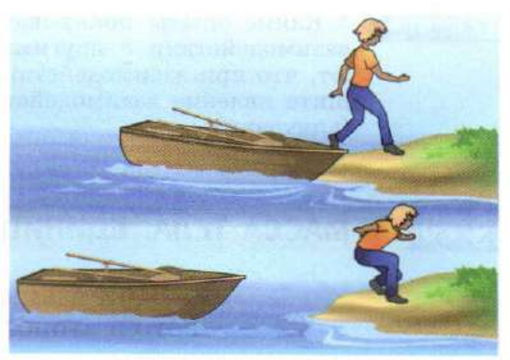


Рис. 45. Взаимодействие человека и лодки

Тележки *действуют друг на друга*, т. е. они *взаимодействуют*. Значит, **действие одного тела на другое не может быть односторонним, оба тела действуют друг на друга, т. е. взаимодействуют.**

Мы рассмотрели самый простой случай взаимодействия двух тел, когда оба тела (тележки) до взаимодействия находились в покое относительно стола и относительно друг друга.

Также пуля находится в покое относительно ружья перед выстрелом. При взаимодействии (во время выстрела) пуля и ружьё движутся в разные стороны. Движение ружья ощущается как *отдача*.

Примеров изменения скорости тел в результате взаимодействия можно привести очень много. Если человек, сидящий в лодке, отталкивает от себя другую лодку, то обе лодки, приобретая скорость, приходят в движение (рис. 44).

Если же человек прыгает с лодки на берег, то лодка отходит в сторону, противоположную прыжку (рис. 45). Человек подействовал на лодку. В свою очередь, и лодка действует на человека. Он приобретает скорость, которая направлена к берегу.

Итак, **в результате взаимодействия оба тела могут изменить свою скорость.**



1. Какие опыты показывают, что тела приходят в движение при взаимодействии с другими телами? 2. Какие примеры показывают, что при взаимодействии меняются скорости обоих тел? 3. Опишите явление взаимодействия тел на примере выстрела из ружья (винтовки).

§ 20 МАССА ТЕЛА. ЕДИНИЦЫ МАССЫ

При взаимодействии двух тел скорости первого и второго тела могут измениться.

Одно тело после взаимодействия приобретает скорость, которая может значительно отличаться от скорости другого тела. Например, после выстрела из лука скорость стрелы гораздо больше скорости, которую приобретает тетива лука после взаимодействия.

Почему так происходит? Проведём опыт, описанный в § 18, только теперь на одну из тележек положим груз (рис. 46, *а*). После того как нить пережгли, тележки разъезжаются в разные стороны (рис. 46, *б*). Путь, пройденный за некоторое время каждой из тележек, будет разным. Это означает, что в результате взаимодействия тележки приобрели разные скорости. Тележка с грузом прошла меньший путь, значит, её скорость была меньше, чем у тележки без груза.

Сравнивая, как меняются скорости взаимодействующих тел за определённый промежуток времени, можно судить об их массах.

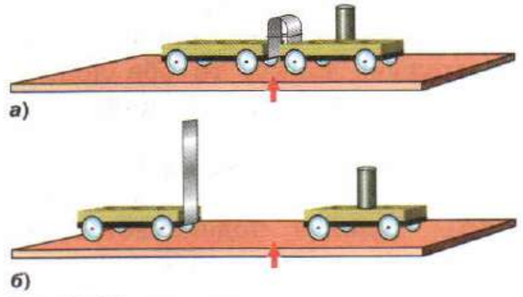


Рис. 46. Изменение скорости движения тележек зависит от их массы

Тележка, движущаяся с меньшей скоростью, обладает большей массой, а тележка, имеющая большую скорость, обладает меньшей массой.

Скорости, которые приобрели тележки в результате взаимодействия, можно измерить. По этим скоростям сравнивают массы взаимодействующих тележек.



Движение шаров после столкновения

Например, скорости тележек до взаимодействия равны нулю. После взаимодействия скорость одной тележки стала равна 10 $\frac{м}{с}$, а скорость другой 20 $\frac{м}{с}$. Поскольку скорость, которую приобрела вторая тележка, *в 2 раза больше скорости первой, то и её масса в 2 раза меньше массы первой тележки.*

Если после взаимодействия скорости изначально покоившихся тележек одинаковы, то и их массы одинаковы. Так, в опыте, изображённом на рисунке 42, после взаимодействия тележки разъезжаются с равными скоростями. Следовательно, их массы были одинаковы. Если после взаимодействия тела приобрели разные скорости, то их массы различны.

Чем *меньше меняется* скорость тела при взаимодействии, тем бóльшую массу оно имеет. Такое тело называют **более инертным.**

Чем *больше меняется* скорость тела при взаимодействии, тем *меньшую массу* оно имеет. Это тело **менее инертно.**

Это значит, что для всех тел характерно свойство по-разному менять свою скорость при взаимодействии. Это свойство тела называют **инертностью.**

Масса тела — это физическая величина, которая является мерой инертности тела.

Следует знать, что любое тело: Земля, человек, книга и т. д. — обладает массой. Масса — одна из важнейших характеристик не только тел на Земле, но и небесных тел (Луны, Солнца и других звёзд, планет и т. п.). Сведения о массе планеты, наряду с информацией о её размерах, температуре на поверхности и в недрах, позволяют судить о строении планеты, о состоянии вещества в атмосфере, окружающей планету, и в недрах планеты.



Рис. 47. Международный эталон килограмма

Массу обозначают буквой m.

За единицу массы в СИ принят *килограмм* **(1 кг).**

Килограмм — это масса эталона. Эталон изготовлен из сплава двух металлов: платины и иридия. Международный эталон килограмма хранится в г. Севре (близ Парижа) (рис. 47). С международного эталона сделано более 40 точнейших копий, разосланных в разные страны. Одна из копий международного эталона килограмма имеется в нашей стране, в Институте метрологии им. Д. И. Менделеева в Санкт-Петербурге.

На практике используют и другие единицы массы: *тонна* **(т)**, *грамм* **(г)**, *миллиграмм* **(мг)**.

1 т = 1000 кг (10^3 кг);
1 кг = 1000 г (10^3 г);
1 кг = 1 000 000 мг (10^6 мг);
1 г = 0,001 кг (10^{-3} кг);
1 мг = 0,001 г (10^{-3} г);
1 мг = 0,000001 кг (10^{-6} кг).

В дальнейшем при изучении физики понятие массы будет раскрыто глубже.



1. Как проводился опыт с двумя взаимодействующими тележками? 2. Каким образом можно установить, что масса одной из тележек больше, а другой меньше? 3. Какие единицы массы также используют на практике?

УПРАЖНЕНИЕ 6

1. Выразите в килограммах массы тел: 3 т; 0,25 т; 300 г; 150 г; 10 мг.
2. Из неподвижной лодки, масса которой 80 кг, прыгает на берег мальчик. Масса мальчика 40 кг, скорость его при прыжке 2 $\frac{м}{с}$. Какую скорость приобрела лодка?
3. Из винтовки вылетает пуля со скоростью 700 $\frac{м}{с}$. Винтовка при отдаче приобретает скорость 1,6 $\frac{м}{с}$. Определите массу винтовки, если масса пули 10 г.

§ 21 ИЗМЕРЕНИЕ МАССЫ ТЕЛА НА ВЕСАХ

Для того чтобы измерить массу тела, можно использовать метод, описанный в § 19.

Сравнивая скорости, приобретённые телами при взаимодействии, определяют, во сколько раз масса одного тела больше (или меньше) массы другого. Измерить массу тела этим способом можно, если масса одного из взаимодействующих тел известна. Таким способом определяют в науке массы небесных тел, а также молекул и атомов.

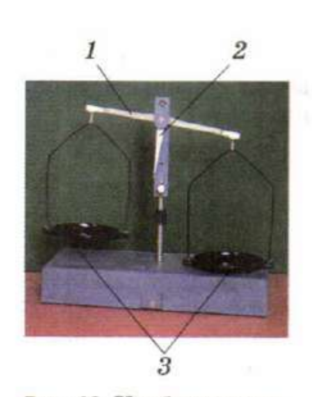


Рис. 48. Учебные весы

На практике массу тела можно узнать с помощью *весов*. Весы бывают различного типа: учебные, медицинские, аналитические, аптекарские, электронные и др.

На рисунке 48 изображены учебные весы. Главной частью таких весов является *коромысло* (*1*). К середине коромысла прикреплена стрелка — *указатель* (*2*), которая движется вправо или влево. К концам коромысла подвешены *чашки* (*3*). При каком условии весы будут находиться в равновесии?

Поместим на чашки весов тележки, которые применялись в опыте (см. § 18). Поскольку при взаимодействии тележки приобрели одинаковые скорости, то мы выяснили, что их массы одинаковы. Следовательно, весы будут находиться в равновесии. Это значит, что массы тел, лежащих на чашках весов, равны друг другу.

Теперь на одну чашку весов поместим тело, массу которого необходимо узнать. На другую будем ставить гири, массы которых известны, до тех пор, пока весы не окажутся в равновесии.

Следовательно, масса взвешиваемого тела будет равна общей массе гирь.

При взвешивании используется специальный набор гирь (рис. 49).

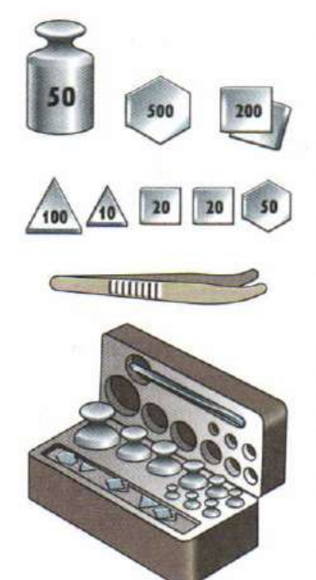


Рис. 49. Набор гирь

Различные весы предназначены для взвешивания разных тел, как очень тяжёлых, так и

очень лёгких. Так, например, с помощью вагонных весов можно определить массу вагона от 50 до 150 т. Массу комара, равную 1 мг, можно узнать с помощью аналитических весов.



1. Как определить массу тела по взаимодействию его с другим телом известной массы? 2. Каково условие равновесия учебных весов? 3. Как можно определить массу тела при помощи весов?

ЗАДАНИЕ

- Налейте в пластиковый стакан холодной воды и взвесьте на кухонных весах. Затем поставьте воду в морозильную камеру, и после замерзания вновь поставьте на весы. Изменилась ли масса воды, после того как она превратилась в лёд? Дайте объяснения.

§ 22 ПЛОТНОСТЬ ВЕЩЕСТВА

Тела, окружающие нас, состоят из различных веществ: дерева, железа, резины и т. д.

Масса любого тела зависит не только от его размеров, но и от того, из какого вещества это тело состоит. При этом тела, имеющие *равные объёмы*, но изготовленные из *разных веществ*, имеют *разные массы*.

Взвесим два цилиндра равного объёма, но изготовленные из разных веществ. Например, один цилиндр — алюминиевый, а другой — свинцовый. Опыт показывает, что масса алюминиевого цилиндра почти в 4 раза меньше массы свинцового (рис. 50).

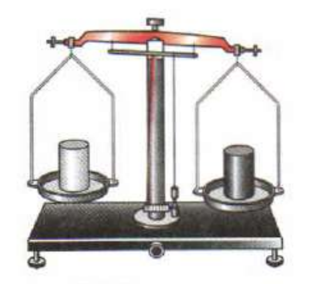


Рис. 50. Взвешивание тел равного объёма, изготовленных из разных веществ

В то же время тела *с равными массами*, изготовленные из *разных веществ*, имеют *разные объёмы*.

Так, железный брус массой 1 т занимает объём 0,13 м^3, а лёд массой 1 т — объём 1,1 м^3.



Рис. 51. Тела равной массы, но разного объёма

Объём льда почти в 9 раз больше объёма железного бруса (рис. 51).

Это объясняется тем, что разные вещества могут иметь разную *плотность*.

Отсюда следует, что тела объёмом 1 м^3 каждое, изготовленные из *разных веществ*, имеют *разные массы*. Так, алюминий объёмом 1 м^3 имеет массу 2700 кг, свинец такого же объёма (1 м^3) имеет массу 11 300 кг.

Плотность показывает, чему равна масса вещества, взятого в объёме 1 м^3 (*или* 1 см^3).

Как же можно найти плотность данного вещества?

Пример. Мраморная плита имеет объём 2 м^3, а её масса равна 5400 кг. Определите плотность мрамора.

Известно, что мрамор объёмом 2 м^3 имеет массу 5400 кг. Следовательно, 1 м^3 мрамора будет иметь массу в 2 раза меньшую, т. е. 5400 : 2 = 2700 кг. Таким образом, плотность мрамора будет равна 2700 кг на 1 м^3.

Итак, если известна масса тела и его объём, можно определить плотность.

Чтобы найти плотность вещества, надо массу тела разделить на его объём.

Плотность — это физическая величина, которая равна отношению массы тела к его объёму.

плотность =

$$= \frac{\text{масса}}{\text{объём}}$$

Обозначим величины, входящие в это выражение, буквами: плотность вещества — ρ (греч. буква «ро»), масса тела — m, его объём — V.

Тогда получим формулу для вычисления плотности:

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Единицей плотности вещества в СИ является *килограмм на кубический метр* $\left(1\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$.

Плотность вещества выражают очень часто и в *граммах на кубический сантиметр* $\left(1\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$ (рис. 52).



Рис. 52. Плотность кубика, длина ребра которого равна 1 см, численно равна массе этого кубика

Если плотность вещества выражена в $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, то её можно перевести в $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ следующим образом.

Пример. Плотность серебра $10\,500\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Выразите её в $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Переведём килограммы в граммы, а кубические метры в кубические сантиметры:

$$10\,500\ \text{кг} = 10\,500\,000\ \text{г (или } 10{,}5 \cdot 10^6\ \text{г)},$$

$$1\ \text{м}^3 = 1\,000\,000\ \text{см}^3\ \text{(или } 10^6\ \text{см}^3).$$

$$\text{Тогда } \rho = 10\,500\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = \frac{10{,}5 \cdot 10^6}{10^6}\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 10{,}5\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Следует помнить, *что плотность одного и того же вещества в твёрдом, жидком и газообразном состояниях различна.* Так, плотность льда равна $900\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, воды $1000\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, водяного пара $0{,}590\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Астрономам удалось рассчитать плотности планет Солнечной системы. У *планет-гигантов*: Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна — малая плотность. Это объясняется тем, что основная часть составляющего их вещества (водород и гелий) находится в газообразном и жидком состоянии. Самая низкая плотность у Сатурна порядка 700 кг/м^3. А вот плотность *планет земной группы* — Меркурия, Венеры, Земли и Марса — превосходит в 5—6 раз плотность планет-гигантов. На основании этих данных астрономы пришли к выводу, что планеты земной группы состоят из твёрдых веществ.

Ниже приведены таблицы плотностей некоторых твёрдых тел, жидкостей и газов.

Таблица 2. Плотности некоторых твёрдых тел (при норм. атм. давл., $t = 20$ °C)

Твёрдое тело	ρ, кг/м³	ρ, г/см³	Твёрдое тело	ρ, кг/м³	ρ, г/см³
Осмий	22 600	22,6	Мрамор	2700	2,7
Иридий	22 400	22,4	Стекло оконное	2500	2,5
Платина	21 500	21,5	Фарфор	2300	2,3
Золото	19 300	19,3	Бетон	2300	2,3
Свинец	11 300	11,3	Кирпич	1800	1,8
Серебро	10 500	10,5	Сахар-рафинад	1600	1,6
Медь	8900	8,9	Оргстекло	1200	1,2
Латунь	8500	8,5	Капрон	1100	1,1
Сталь, железо	7800	7,8	Полиэтилен	920	0,92
Олово	7300	7,3	Парафин	900	0,90
Цинк	7100	7,1	Лёд	900	0,90
Чугун	7000	7,0	Дуб (сухой)	700	0,70
Корунд	4000	4,0	Сосна (сухая)	400	0,40
Алюминий	2700	2,7	Пробка	240	0,24

Таблица 3. Плотности некоторых жидкостей (при норм. атм. давл., $t = 20$ °C)

Жидкость	ρ, кг/м³	ρ, г/см³	Жидкость	ρ, кг/м³	ρ, г/см³
Ртуть	13 600	13,60	Керосин	800	0,80
Серная кислота	1800	1,80	Спирт	800	0,80
Мёд	1350	1,35	Нефть	800	0,80
Вода морская	1030	1,03	Ацетон	790	7,9
Молоко цельное	1030	1,03	Эфир	710	0,71
Вода чистая	1000	1,00	Бензин	710	0,71
Масло подсолнечное	930	0,93	Жидкое олово (при $t = 400$ °C)	6800	6,80
Масло машинное	900	0,90	Жидкий воздух (при $t = -194$ °C)	860	0,86

Таблица 4. Плотности некоторых газов (при норм. атм. давл., $t = 20$ °С)

Газ	ρ, кг/м³	ρ, г/см³	Газ	ρ, кг/м³	ρ, г/см³
Хлор	3,210	0,00321	Оксид углерода(II) (угарный газ)	1,250	0,00125
Оксид углерода (IV) (углекислый газ)	1,980	0,00198	Природный газ	0,800	0,0008
Кислород	1,430	0,00143	Водяной пар (при $t = 100$ °С)	0,590	0,00059
Воздух (при 0 °С)	1,290	0,00129	Гелий	0,180	0,00018
Азот	1,250	0,00125	Водород	0,090	0,00009



1. По какой формуле можно рассчитать плотность вещества? 2. Какова единица плотности в СИ? 3. Какие ещё единицы плотности вам известны?

УПРАЖНЕНИЕ 7

1. Плотность редкого металла осмия равна 22 600 $\frac{кг}{м^3}$. Что это означает?

2. Пользуясь таблицами плотностей (табл. 2, 3), определите, плотность какого вещества больше: цинка или серебра; бетона или мрамора; бензина или спирта.

3. Три кубика — из мрамора, льда и латуни — имеют одинаковый объём. Какой из них имеет бо́льшую массу, а какой — меньшую?

4. Самое лёгкое дерево — бальза. Масса древесины этого дерева равна 12 г при объёме 100 см³. Определите плотность древесины в $\frac{г}{см^3}$ и $\frac{кг}{м^3}$.

5. Кусочек сахара имеет размеры: $a = 2,5$ см, $b = 1$ см, $c = 0,7$ см (рис. 53). Его масса равна 0,32 г. Определите плотность сахара. Проверьте полученный результат по таблице 2.

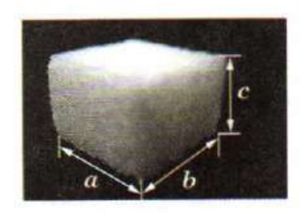


Рис. 53

ЗАДАНИЕ

- В вашем распоряжении имеются весы с разновесами, измерительный цилиндр с водой и металлический шарик на нити. Предложите, как определить плотность шарика.

§ 23 РАСЧЁТ МАССЫ И ОБЪЁМА ТЕЛА ПО ЕГО ПЛОТНОСТИ

Знать плотность веществ очень важно для различных практических целей. Инженер, создавая машину, заранее по плотности и объёму материала может рассчитать массу будущей машины. Строитель может определить, какова будет масса строящегося здания.

Следовательно, зная плотность вещества и объём тела, всегда можно определить его массу.

Поскольку плотность любого вещества определяют по формуле $\rho = \frac{m}{V}$, то отсюда можно найти массу, т. е.

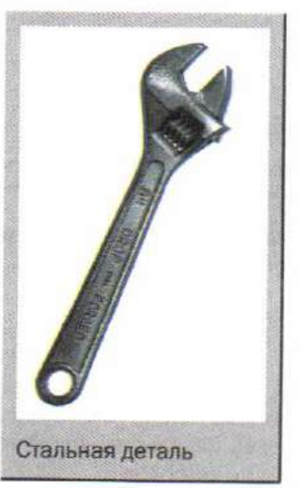
$m = \rho V$

$$m = \rho V.$$

Чтобы вычислить массу тела, если известны его объём и плотность, надо плотность умножить на объём.

Пример. Определите массу стальной детали объёмом 120 см^3.

По таблице 2 находим, что плотность стали равна 7,8 $\frac{г}{см^3}$. Запишем условие задачи и решим её.


Стальная деталь

Дано:	Решение:
$V = 120$ см^3	$m = \rho \cdot V$,
$\rho = 7{,}8\ \frac{г}{см^3}$	$m = 120\ см^3 \cdot 7{,}8\ \frac{г}{см^3} = 936$ г.
m — ?	

Ответ: $m = 936$ г.

Если известна масса тела и его плотность, то объём тела можно выразить из формулы $m = \rho V$, т. е. объём тела будет равен

$$V = \frac{m}{\rho}.$$



Бутылка подсолнечного масла

Чтобы вычислить объём тела, если известна его масса и плотность, надо массу разделить на плотность.

Пример. Масса подсолнечного масла, заполняющего бутылку, равна 930 г. Определите объём бутылки.

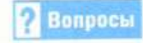
По таблице 3 находим, что плотность подсолнечного масла равна $0,93\ \frac{г}{см^3}$.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	Решение:
$\rho = 0,93 \frac{г}{см^3}$	$V = \frac{m}{\rho}$,
$m = 930$ г	$V = \frac{930\ г}{0,93\ \frac{г}{см^3}} = 1000\ см^3 = 1$ л.
V — ?	

Ответ: $V = 1$ л.

Для определения объёма пользуются формулой, как правило, в тех случаях, когда объём сложно найти с помощью простых измерений.



1. Как вычисляется масса тела по его плотности и объёму? **2.** По какой формуле можно определить объём тела?

УПРАЖНЕНИЕ 8

1. Какова масса 0,5 л спирта, молока, ртути?
2. Определите объём льдинки, масса которой 108 г.
3. Сколько килограммов керосина входит в пятилитровую бутыль?
4. Грузоподъёмность лифта 3 т. Сколько листов железа можно погрузить в лифт, если длина каждого листа 3 м, ширина 60 см и толщина 4 мм?
5. Кружка доверху наполнена молоком. Определите объём кружки, если масса молока в кружке 515 г, плотность молока найдите в таблице.

ЗАДАНИЕ

- Возьмите баночку из-под мёда. Рассмотрите внимательно этикетку. Найдите на ней, какова масса мёда и объём баночки. Затем рассчитайте плотность мёда. Полученный результат проверьте по таблице 3.

§ 24 СИЛА



Рис. 54. Изменение скорости движения тележки

Каждый из нас постоянно встречается с различными случаями действия тел друг на друга. В результате взаимодействия скорость движения какого-либо тела меняется. Вам уже известно, что скорость тела меняется тем больше, чем меньше его масса.

Рассмотрим некоторые примеры, подтверждающие это.

Толкая руками тележку, мы можем привести её в движение (рис. 54). Скорость тележки меняется под действием руки человека.

Кусочек железа, лежащий на пробке, опущенной в воду, притягивается магнитом (рис. 55). Кусочек железа и пробка изменяют свою скорость под действием магнита.

Действуя на пружину рукой, можно её сжать. Сначала в движение приходит конец пружины. Затем движение передаётся остальным её частям. Сжатая пружина, распрямляясь, может, например, привести в движение шарик (рис. 56).

При сжатии пружины действующим телом была рука человека. Когда пружина распрямляется, действующим телом является сама пружина. Она приводит в движение шарик.

Ракеткой или рукой можно изменить направление движения летящего мячика (рис. 57).

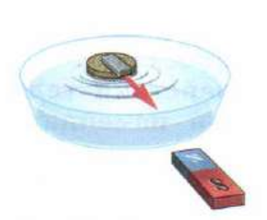
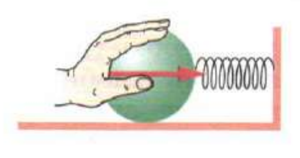


Рис. 55. Изменение скорости движения кусочка железа под действием магнита



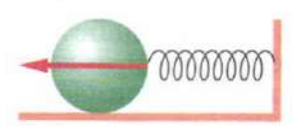


Рис. 56. Движение шарика под действием распрямляющейся пружины



Рис. 57. Изменение направления скорости движения мяча



Рис. 58. Деформация ластика

Во всех приведённых примерах тело под действием другого тела приходит в движение, останавливается или изменяет направление своего движения.

Таким образом, **скорость тела меняется при взаимодействии его с другими телами.**

Часто не указывают, какое тело и как действовало на данное тело. Просто говорят, что *на тело действует сила или к нему приложена сила*. Под действием силы тело меняет свою *скорость*.

Сила, действующая на тело, может не только изменить скорость всего тела, но и отдельных его частей.

Например, если надавить пальцами на ластик, то он сожмётся, изменит свою форму (рис. 58). В таких случаях говорят, что тело *деформируется*.

Деформацией называется любое изменение формы и размера тела.

Приведём другой пример. Доска, лежащая на опорах, прогибается, если на неё садится человек (рис. 59). Середина доски перемещается на большее расстояние, чем края.

Под действием силы скорость различных тел за одно и то же время может изменяться одинаково. Для этого необходимо к этим телам приложить разные силы.

Так, чтобы привести в движение грузовую машину, необходима бóльшая сила, чем для легкового автомобиля. Следовательно, числовое значение силы может быть различным: бóльшим или меньшим. Что же такое сила?

Сила является мерой взаимодействия тел. В результате действия силы тела изменяют свою скорость или деформируются.

Сила — физическая величина, значит, её можно измерить.

Сила, как и скорость, является *векторной величиной*. Она характеризуется не только числовым значением, но и направлением. Сила



Рис. 59. Прогибание доски под действием тела человека

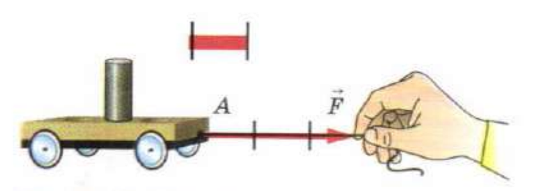


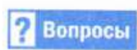
Рис. 60. Изображение силы на чертеже

обозначается буквой $\vec{F}$ со стрелочкой, а её модуль той же буквой F, но без стрелочки.

Когда говорят о силе, важно указывать, к какой точке тела приложена действующая на него сила.

На чертеже силу изображают в виде отрезка прямой со стрелкой на конце (рис. 60). Начало отрезка — точка A есть точка приложения силы. Длина отрезка условно обозначает в определённом масштабе модуль силы.

Итак, **результат действия силы на тело зависит от её модуля, направления и точки приложения.**



1. В результате чего может меняться скорость тела? Приведите примеры. **2.** Что такое сила? **3.** Как изображают силу на чертеже?



УПРАЖНЕНИЕ 9

Компьютерную мышку двигают по столу с силой 2 Н. Изобразите эту силу в масштабе 1 клетка — 1 Н.

§ 25 ЯВЛЕНИЕ ТЯГОТЕНИЯ. СИЛА ТЯЖЕСТИ

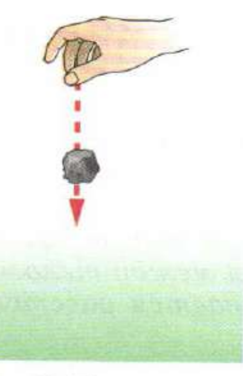


Рис. 61. Движение камня под действием притяжения Земли

Выпустим камень из рук — он упадёт на землю (рис. 61). То же самое произойдёт и с любым другим телом. Если мяч бросить в горизонтальном направлении, то он не летит прямолинейно и равномерно. Его траекторией будет кривая линия (рис. 62).

Искусственный спутник, запущенный с Земли, также летит не по прямой, а движется вокруг Земли (рис. 63).

В чём же причина наблюдаемых явлений? На эти тела действует сила — это сила притяжения к Земле. Вследствие притяжения к Земле падают тела, поднятые над Землёй, а потом отпущенные.

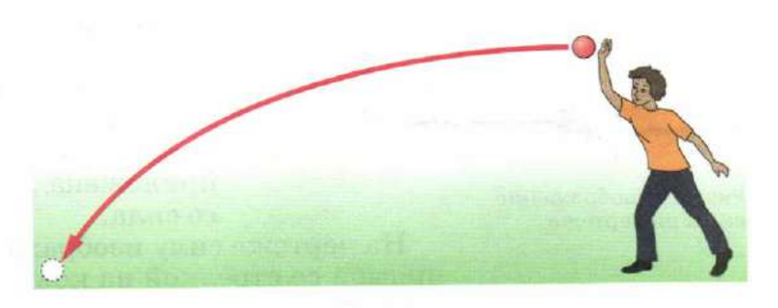


Рис. 62. Траектория движения мяча

Листья деревьев опускаются на Землю, потому что Земля притягивает их. Благодаря притяжению к Земле течёт вода в реках.



Рис. 63. Движение искусственного спутника Земли

Земля притягивает к себе все тела: дома, людей, Луну, Солнце, воду в морях и океанах и т. д. В свою очередь, и Земля притягивается к этим телам.

Притяжение существует не только между Землёй и телами, находящимися на ней. Все тела притягиваются друг к другу. Притягиваются между собой Луна и Земля. Притяжение Земли к Луне вызывает приливы и отливы воды. Огромные массы воды поднимаются в океанах и морях дважды в сутки на много метров. Вам хорошо известно, что Земля и другие планеты движутся вокруг Солнца, притягиваясь к нему и друг к другу.

Притяжение всех тел Вселенной друг к другу называется всемирным тяготением.

Английский учёный **Исаак Ньютон** первым установил закон всемирного тяготения.

Согласно этому закону, *силы притяжения между телами тем больше, чем больше массы этих тел. Силы притяжения между телами уменьшаются, если увеличивается расстояние между ними.*

Для всех живущих на Земле особенно важное значение имеет сила притяжения тел к Земле.

Сила, с которой Земля притягивает к себе тело, называется силой тяжести.


Падение мяча

Сила тяжести обозначается буквой F с индексом: $F_{тяж}$. Она всегда направлена вертикально вниз.

Земной шар немного сплюснут у полюсов, поэтому тела, находящиеся около полюсов, расположены немного ближе к центру Земли. В связи с этим сила тяжести на полюсе немного больше, чем на экваторе или на других широтах. Сила тяжести на вершине горы несколько меньше, чем у её подножия.

Сила тяжести прямо пропорциональна массе этого тела.

Если сравнивать два тела с разной массой, то про тело с большей массой говорят: оно тяжелее. Тело с меньшей массой будет легче.

Во сколько раз масса одного тела больше массы другого тела, во столько же раз и сила тяжести, действующая на первое тело, больше силы тяжести, действующей на второе. Когда массы тел одинаковы, то одинаковы и действующие на них силы тяжести.



1. Почему тела, брошенные горизонтально, падают на землю? 2. Какую силу называют силой тяжести? Как её обозначают? 3. Почему сила тяжести на полюсах Земли несколько больше, чем на экваторе и других широтах? 4. Как зависит сила тяжести от массы? 5. Как направлена сила тяжести?

§ 26 СИЛА УПРУГОСТИ. ЗАКОН ГУКА

Вам уже известно, что на все тела, находящиеся на Земле, действует сила тяжести. В результате действия силы тяжести на Землю падает подброшенный камень, выпущенная из лука стрела, снежинки, листья, оторвавшиеся от веток, и др.

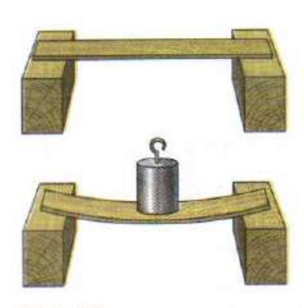


Рис. 64. Возникновение силы упругости

На книгу, лежащую на столе, также действует сила тяжести, но книга не проваливается сквозь стол, а находится в покое. Подвесим тело на нити. Оно падать не будет.

Почему же покоятся тела, лежащие на опоре или подвешенные на нити? По-видимому, сила тяжести уравновешивается какой-то другой силой. Что же это за сила и как она возникает?

Проведём опыт. На середину горизонтально расположенной доски поставим гирю (рис. 64). Под действием силы тяжести гиря начнёт двигаться вниз и прогнёт доску, т. е. доска деформируется. При этом возникает сила, с которой опора (доска) действует на тело, расположенное на ней. Из этого опыта можно сделать вывод, что на гирю, кроме силы тяжести, направленной вертикально вниз, действует ещё какая-то другая сила. Эта сила направлена вертикально вверх. Она и уравновесила силу тяжести. Эту силу называют **силой упругости**.

Сила, возникающая в теле в результате его деформации и стремящаяся вернуть тело в исходное положение, называется силой упругости.

Силу упругости обозначают буквой F с индексом: $F_{упр}$.

Чем сильнее прогибается опора (доска), тем больше сила упругости. Если сила упругости становится равной силе тяжести, действующей на тело, прогибание доски прекращается.

Теперь подвесим тело на нити. Нить (подвес) растягивается (рис. 65). В нити (подвесе), также как и в опоре, возникает сила упругости. При растяжении подвеса сила упругости увеличивается. Если сила упругости будет равна силе тяжести, то растяжение прекращается. Сила упругости возникает только при деформации тел. Если исчезает деформация тела, то исчезает и сила упругости.

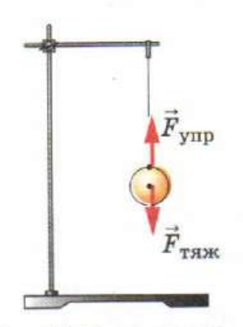


Рис. 65. Растяжение подвеса под действием силы тяжести

Деформации бывают разных видов: растяжения, сжатия (см. рис. 56), сдвига, изгиба (см. рис. 64), кручения.

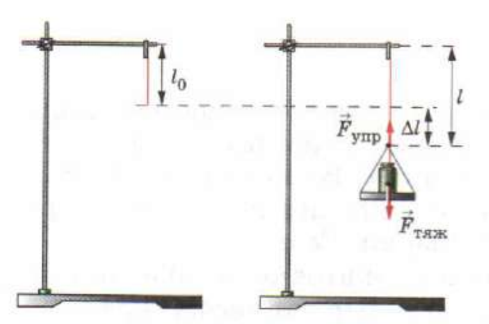


Рис. 66. Возникновение силы упругости при деформации

Теперь попытаемся выяснить, от чего зависит сила упругости.

Английский учёный **Роберт Гук**, современник Ньютона, установил, как зависит сила упругости от деформации.

Рассмотрим опыт. Возьмём резиновый шнур. Один конец его закрепим в штативе (рис. 66). Первоначальная длина шнура была l_0. Если к свободному концу шнура подвесить чашку с гирькой, то шнур удлинится. Его длина станет равной l. Удлинение шнура Δl (Δ — греч. буква «дельта») можно найти так:

$$\Delta l = l - l_0.$$

Если менять гирьки на чашке, то будет меняться и длина шнура, а значит, его удлинение (деформация) Δl.

Опыт показал, что *изменение длины тела при растяжении (или сжатии) прямо пропорционально модулю силы упругости.*

В этом и заключается *закон Гука*. Записывается закон Гука следующим образом:



$$F_{упр} = k\Delta l,$$

где Δl — удлинение тела (изменение его длины), k — коэффициент пропорциональности, который называется **жёсткостью**.

Жёсткость тела зависит от формы и размеров, а также от материала, из которого оно изготовлено.

Закон Гука справедлив только для упругой деформации. Если после прекращения действия сил, деформирующих тело, оно возвращается в исходное положение, то деформация является *упругой*.

? Вопросы **1.** Когда возникает сила упругости? **2.** Что называют деформацией тела? **3.** Какие виды деформаций вы знаете? **4.** Как формулируется закон Гука? **5.** От чего зависит сила упругости?

§ 27 ВЕС ТЕЛА

В повседневной жизни очень часто используется понятие «вес». Попытаемся выяснить, что же это за величина. В опытах, когда тело ставили на опору, сжималась не только опора, но и тело, притягиваемое Землёй.

Деформированное, сжатое тело давит на опору с силой, которую называют **весом тела.**

Если тело подвешено на нити (подвесе), то растянута не только нить (подвес), но и само тело.

Вес тела — это сила, с которой тело вследствие притяжения к Земле действует на опору или подвес.

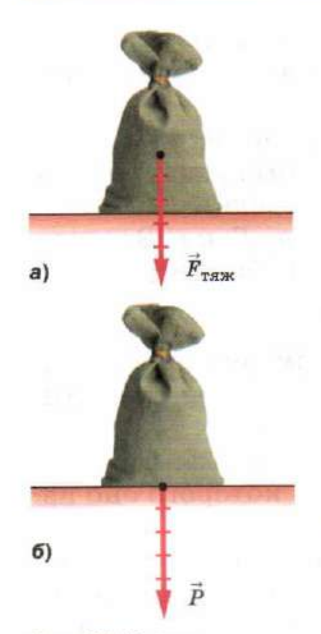


Рис. 67. Точки приложения: *а* — силы тяжести; *б* — веса тела

Как и другие силы, вес — *векторная физическая величина*. Вес тела обозначается буквой $\vec{P}$.

Вес тела, так же как сила тяжести, всегда направлен вниз. Однако следует помнить, что *сила тяжести приложена к телу* (рис. 67, *а*), *а вес — к опоре или подвесу* (рис. 67, *б*).

Если тело и опора неподвижны или движутся равномерно и прямолинейно, то вес тела по своему числовому значению равен силе тяжести, т. е.

$$P = F_{тяж}.$$

Следует помнить, что сила тяжести возникает вследствие взаимодействия тела и Земли.

Вес тела возникает в результате взаимодействия тела и опоры (подвеса) вследствие взаимодействия тела и Земли. Опора (подвес) и тело при этом деформируются, что приводит к появлению силы упругости.



1. Что называют весом тела? 2. Чем отличается вес тела от силы тяжести?

Это любопытно...

Невесомость

Мы живём в век начала освоения космоса, в век полётов космических кораблей вокруг Земли, на Луну и на другие планеты Солнечной системы. Нам часто приходится слышать и читать о том, что лётчики-космонавты и все предметы на космическом корабле во время его свободного полёта находятся в особом состоянии, называемом *состоянием невесомости*. Что же это за состояние и можно ли его наблюдать на Земле?

Невесомость — сложное физическое явление. Однако некоторые представления о состоянии невесомости можно получить и в начале изучения физики.

Напомним, что под весом тела мы понимаем силу, с которой тело вследствие притяжения к Земле давит на опору или растягивает подвес.

Представим себе такой случай: опора или подвес вместе с телом свободно падают. Ведь опора и подвес тоже телá, и на них также действует сила тяжести. Каков в этом случае будет вес тела, т. е. с какой силой тело будет действовать на опору или подвес?

Обратимся к опыту. Для опыта берут небольшое тело и подвешивают его к пружине (рис. 68, *а*), другой конец которой прикреплён к неподвижной опоре. Под действием силы тяжести тело начинает двигаться вниз, поэтому пружина растягивается до тех пор, пока возникшая в ней сила упругости не уравновесит силу тяжести. Затем пережигают нить, удерживающую пружину с телом, пружина вместе с телом падает. Наблюдая за пружиной, замечают, что растяжение её исчезло (рис. 68, *б*). И *пока пружина с телом падает, она остаётся нерастянутой*. Следовательно, *падающее тело не действует на падающую вместе с телом пружину*. В этом случае *вес тела равен нулю*, но *сила тяжести не равна нулю*, она по-прежнему действует на тело и заставляет его падать. Точно так же *если тело и опора*, на которой оно лежит, *будут свободно падать*, то такое тело перестанет давить на опору. Следовательно, в этом случае *вес тела будет равен нулю*.

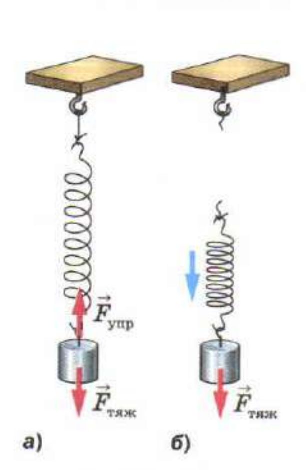


Рис. 68. Действие силы тяжести на тела

Подобные явления наблюдаются и на спутнике, обращающемся вокруг Земли. Сам спутник и все находящиеся в нём тела, включая космонавта, обращаясь вокруг Земли, как бы непрерывно свободно падают на Землю. Вследствие этого все находящиеся в спутнике тела не давят на опору, а подве-


Состояние невесомости в космосе

шенные к пружине не растягивают её. Про такие тела говорят, что они находятся в *состоянии невесомости*.

Не закреплённые в корабле-спутнике тела свободно парят. Жидкость, налитая в сосуд, не давит на дно и стенки сосуда, поэтому она не вытекает через отверстие в сосуде. Маятники часов покоятся в любом положении, в котором их поставили. Космонавту, чтобы удержать руку или ногу в вытянутом положении, не требуется никакого усилия. У него исчезает представление о том, где верх и где низ. Если сообщить какому-нибудь телу скорость относительно кабины спутника, то оно будет двигаться прямолинейно и равномерно, пока не столкнётся с другими телами.

§ 28 ЕДИНИЦЫ СИЛЫ. СВЯЗЬ МЕЖДУ СИЛОЙ ТЯЖЕСТИ И МАССОЙ ТЕЛА

Вам уже известно, что сила — это физическая величина. Она кроме числового значения (модуля) имеет направление, т. е. это векторная величина.

Силу, как и любую физическую величину, можно измерить, т. е. сравнить с силой, принятой за единицу.

Единицы физических величин всегда выбирают условно. Так, за единицу силы можно было принять любую силу. Например, можно выбрать в качестве единицы силы силу упругости какой-либо пружины, растянутой до определённой длины. За единицу силы можно принять и силу тяжести, действующую на какое-нибудь тело.

$$1\ \text{Н} = 1\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$$

Вы знаете, что *сила* является причиной изменения скорости тела. Именно поэтому *за единицу силы принята сила, которая за время* 1 с *изменяет скорость тела массой* 1 кг *на* 1 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

В честь английского физика И. Ньютона эта единица названа *ньютоном* (**1 Н**).

Часто применяют и другие единицы — *килоньютон* (**кН**), *миллиньютон* (**мН**):

$$1 \text{ кН} = 1000 \text{ Н}, 1 \text{ Н} = 0{,}001 \text{ кН}.$$

Попытаемся определить величину силы в 1 Н. Установлено, что 1 Н приблизительно равен силе тяжести, которая действует на тело массой $\frac{1}{10}$ кг, или более точно $\frac{1}{9{,}8}$ кг (т. е. около 102 г).


Сила тяжести, действующая на альпиниста, меняется с высотой

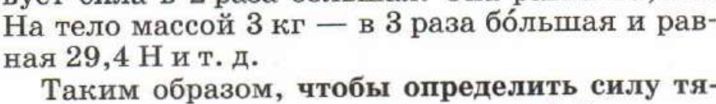
Необходимо помнить, что сила тяжести, действующая на тело, зависит от географической широты, на которой находится тело. Сила тяжести меняется и при изменении высоты над поверхностью Земли.

Если единицей силы является 1 Н, то как рассчитать силу тяжести, которая действует на тело любой массы?

Известно, что во сколько раз масса одного тела больше массы другого тела, во столько же раз сила тяжести, действующая на первое тело, больше силы тяжести, действующей на второе тело. Таким образом, если на тело массой $\frac{1}{9{,}8}$ кг действует сила тяжести, равная 1 Н, то на тело $\frac{2}{9{,}8}$ кг будет действовать сила тяжести, равная 2 Н. На тело массой $\frac{5}{9{,}8}$ кг — сила тяжести, равная 5 Н, $\frac{5{,}5}{9{,}8}$ кг — 5,5 Н и т. д. На тело массой $\frac{9{,}8}{9{,}8}$ кг будет действовать сила, равная 9,8 Н.

Поскольку $\frac{9{,}8}{9{,}8}$ кг = 1 кг, то *на тело массой* 1 кг *действует сила тяжести, равная* 9,8 Н. Значение силы тяжести, действующей на тело массой 1 кг, можно записать так: $9{,}8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Значит, если на тело массой 1 кг действует сила, равная 9,8 Н, то на тело массой 2 кг дейст-



вует сила в 2 раза бо́льшая. Она равна 19,6 Н. На тело массой 3 кг — в 3 раза бо́льшая и равная 29,4 Н и т. д.

Таким образом, **чтобы определить силу тяжести, действующую на тело любой массы, необходимо $9{,}8\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ умножить на массу этого тела.**

Массу тела выражают в килограммах. Тогда получим, что

$$F_{\text{тяж}} = 9{,}8\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot m.$$

$$F_{\text{тяж}} = 9{,}8\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot m$$

Величину $9{,}8\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ обозначают буквой g, и формула для силы тяжести будет иметь вид:

$$F_{\text{тяж}} = gm,$$

где m — масса тела, g — *ускорение свободного падения*. (Понятие ускорения свободного падения будет вами изучено в 9 классе.)

При решении задач, когда не требуется большой точности, $g = 9{,}8\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ округляют до $g = 10\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Вам уже известно, что $P = F_{\text{тяж}}$, если тело и опора неподвижны или движутся равномерно и прямолинейно. Следовательно, вес тела можно определить по формуле

$$P = gm.$$

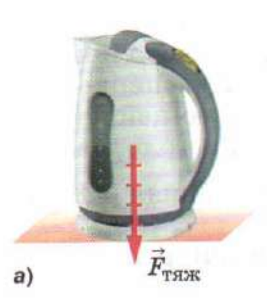




Рис. 69. Изображение силы тяжести и веса тела

Пример. На столе стоит чайник с водой массой 1,5 кг. Определите силу тяжести и вес чайника. Покажите эти силы на рисунке.

Дано:	Решение:
$m = 1{,}5$ кг	$F_{\text{тяж}} = gm,$
$g \approx 10\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$	$P = gm,$
	$F_{\text{тяж}} = P \approx 10\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1{,}5\ \text{кг} = 15\ \text{Н}.$
$F_{\text{тяж}}$ — ?	
P — ?	

Ответ: $F_{\text{тяж}} = P = 15$ Н.

Теперь изобразим силы графически (рис. 69). Выберем масштаб. Пусть 3 Н будет равен отрезку длиной 0,3 см. Тогда силу в 15 Н необходимо начертить отрезком длиной 1,5 см.

Следует учитывать, что сила тяжести действует на тело, а значит, приложена к самому телу. Вес действует на опору или подвес, т. е. приложен к опоре, в нашем случае к столу.

? Вопросы 1. Что значит измерить какую-либо силу? 2. Что принято за единицу силы? 3. Как рассчитать силу тяжести, действующую на тело любой массы? 4. По какой формуле можно определить вес тела?

УПРАЖНЕНИЕ 10

1. Определите силу тяжести, действующую на тело массой 3,5 кг; 400 г; 1,5 т; 60 г.
2. Найдите вес тела, масса которого 5 кг, 300 г.
3. Вес человека 700 Н. Определите его массу. Сделайте рисунок и покажите вес тела.
4. Выразите в ньютонах следующие силы: 240 кН, 25 кН, 5 кН, 0,2 кН.
5. На столе стоит телевизор массой 5 кг. Определите силу тяжести и вес телевизора. Изобразите эти силы на рисунке.

§ 29 СИЛА ТЯЖЕСТИ НА ДРУГИХ ПЛАНЕТАХ. ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНЕТ

Вокруг Солнца движутся 8 больших планет (рис. 70): планеты *земной группы* — Меркурий, Венера, Земля, Марс и *планеты-гиганты* — Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун. Все они удерживаются около Солнца силами тяготения. Эти силы очень велики. Например, между Солнцем и Землёй действует сила тяготения, равная примерно 30 000 000 000 000 000 000 000 Н = $3 \cdot 10^{22}$ Н, или $3 \cdot 10^{19}$ кН. Большое числовое значение этой силы объясняется тем, что массы Солнца и Земли очень велики.

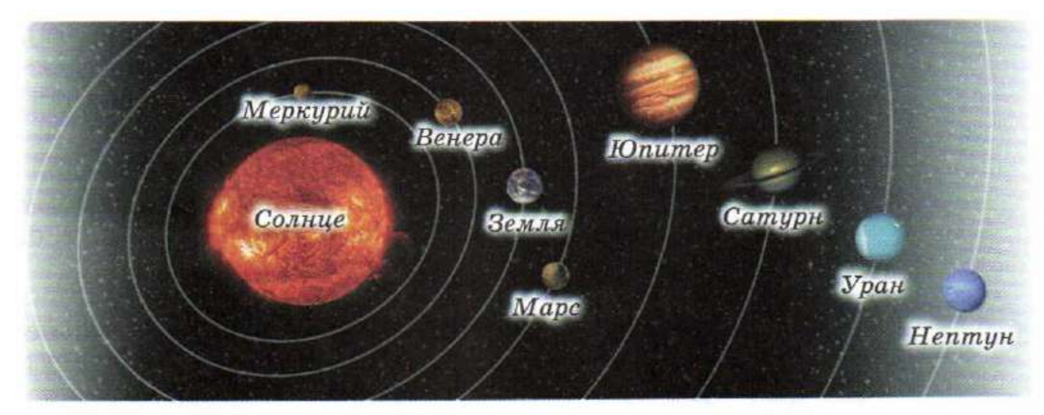


Рис. 70. Движение планет вокруг Солнца

Среди больших планет Солнечной системы наименьшую массу имеет Меркурий — его масса почти в 19 раз меньше массы Земли.

Масса самой большой планеты Солнечной системы — Юпитера — в 318 раз больше массы Земли. Вокруг многих планет движутся их спутники, которые также удерживаются вблизи планет силами тяготения. Спутник нашей Земли — Луна — самое близкое к нам небесное тело. Расстояние между Луной и Землёй равно в среднем 380 000 км. Масса Луны в 81 раз меньше массы Земли.

Чем меньше масса планеты, тем с меньшей силой она притягивает к себе тела. Сила тяжести на поверхности Луны в 6 раз меньше силы тяжести, действующей на поверхности Земли. Например, автомобиль, масса которого 600 кг, на Луне весил бы не 6000 Н, как на Земле, а 1000 Н (100 кг) (рис. 71). Чтобы покинуть Луну, тела должны иметь скорость не 11 $\frac{км}{с}$, как на Земле, а 2,4 $\frac{км}{с}$. А если бы человек высадился на Юпитер, масса которого во много раз больше массы Земли, то там он весил бы почти в 3 раза больше, чем на Земле.



Рис. 71. Сила тяжести на Луне меньше, чем на Земле

Кроме 8 больших планет с их спутниками, вокруг Солнца движется группа очень ма-

ленькиx планет, которые называют *астероидами*. Даже самая большая из этих планет — Ц е р е р а — по радиусу почти в 20 раз, а по массе в 7500 раз меньше Земли. Сила тяжести на этих планетах так мала, что человек, оттолкнувшись от поверхности такой планеты, мог бы улететь с неё.



КОНСТАНТИН ЭДУАРДОВИЧ ЦИОЛКОВСКИЙ

(1857—1935)

Российский учёный и изобретатель, основоположник современной космонавтики и ракетной техники

Вот как описывает К. Э.Циолковский в одном из рассказов условия пребывания человека на астероиде Веста, который имеет массу, в 60 000 раз меньшую массы Земли: «На Земле я могу свободно нести ещё одного человека такого же веса, как я. На Весте с такою же лёгкостью могу нести в 30 раз больше, т. е. 60 человек. На Земле я могу подпрыгнуть на 50 см.

На Весте такое же усилие даёт прыжок на 30 м. Это — высота десятиэтажного дома или огромнейшей сосны. Там легко перепрыгивать через рвы и ямы шириной в порядочную реку. Можно перепрыгивать через 15-метровые деревья и дом. И это без разбега».

Изучение космического пространства важно для понимания процессов, происходящих на Земле: возникновение магнитных бурь, туманов, смогов, изменение климата и др.

Изучая и сравнивая характеристики Земли и других планет, учёные находят их общие физические свойства. Это даёт возможность судить о происхождении и формировании Солнечной системы. Так, планеты земной группы схожи между собой; имеют небольшие размеры и массы, средняя плотность этих планет в несколько раз превосходит плотность воды. Они медленно вращаются вокруг своих осей. У них мало спутников. Меркурий и Венера их не имеют, у Марса два крохотных — Фобос и Деймос, у Земли — Луна. Характерной чертой планет земной группы является наличие литосферы. А вот гидросферу имеет лишь Земля.

Это любопытно...



Солнце — центральное тело Солнечной системы. Благодаря излучаемому Солнцем свету и теплу на Земле зародилась жизнь, сформировались полезные ископаемые: нефть, уголь, газ. Основное состояние вещества, находящегося на Солнце, — это *плазма* (четвёртое состояние вещества). Самые распространённые элементы на Солнце — водород и гелий. Гелий сначала был открыт на Солнце, потом на Земле, поэтому и получил своё название.

Меркурий — самая близкая к Солнцу планета. Большую часть занимают неровные возвышенные материки, имеются низменности, заполненные лавой, многочисленные кратеры метеоритного происхождения. На дневной стороне планеты температура достигает 420 °C. При такой температуре плавится олово и даже цинк. На ночной стороне температура ниже −173 °C.



Венера — планета, по размерам и массе одинаковая с Землёй. Вращается в направлении, противоположном вращению Земли и другим планетам. Её ось почти перпендикулярна плоскости орбиты, а это значит, что северное и южное полушария освещаются Солнцем одинаково. Поверхность — холмистые равнины, плоскогорья, горные массивы высотой до 8 км.





Земля — по удалённости от Солнца является третьей планетой и движется вокруг него со скоростью 30 км/с по эллиптической орбите, при этом ось Земли остаётся параллельной самой себе. Средняя плотность Земли $5{,}5 \cdot 10^3$ кг/м^3

Луна — спутник Земли, светит отражённым солнечным светом, практически нет атмосферы. Температура на солнечной стороне превышает 130 °C, на противоположной −170 °C. Поверхность Луны изобилует «морями», «материками», кратерами. На видимом со стороны Земли полушарии преобладают материки. Полный оборот вокруг Земли Луна совершает за 27,3 сут, за это же время Луна делает оборот вокруг своей оси.



Марс — примерно в 2 раза меньше Земли. Очень похож на Землю по характеру процессов, происходящих в атмосфере. Средняя температура –60 °С, на полюсах до –150 °С (углекислый газ превращается в сухой лёд). Значительные запасы воды сосредоточены в слое вечной мерзлоты. Красноватая окраска планеты объясняется присутствием оксида железа.

Юпитер — в 11 раз по диаметру больше Земли, обнаружены облачные образования в атмосфере, температура в центре около 30 000 °С, в недрах есть металлический водород с силикатами и металлами, которые и образуют ядро планеты. Ось планеты почти перпендикулярна к плоскости её орбиты, а это значит, что на Юпитере нет смены времён года.

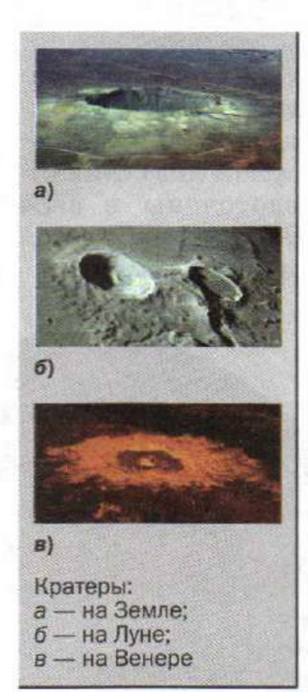


Комета — имеет три составные части: голова, ядро, хвост. Вращается вокруг Солнца, масса около 10^{-4} массы Земли. Вид кометы меняется по мере приближения к Солнцу. Вещество кометы сосредоточено в ядре и состоит из смеси замёрзших газов, пылинок и металлических частиц. При приближении к Солнцу комета прогревается и из неё выделяется газ и пыль, образуя голову и хвост. С помощью комет получают сведения о свойствах космического пространства.



Метеориты — обломки астероидов. Встречаются *железные метеориты*, состоящие в основном из железа, и *каменные*, схожие с земными горными породами, содержащими кислород, кремний, магний, железо.





а)

б)

в)

Кратеры:
а — на Земле;
б — на Луне;
в — на Венере

Атмосфера отсутствует у Меркурия, а у Венеры и Марса она состоит в основном из углекислого газа. Планеты земной группы имеют твёрдые поверхности, множество метеоритных кратеров.

Планеты-гиганты имеют большие размеры и массы. Они очень быстро вращаются вокруг своих осей. Так, Юпитер один оборот совершает почти 10 ч. Так как эти планеты находятся далеко от Солнца, то на них всегда низкие температуры (около –140 °C). У планет-гигантов большое число спутников и колец. Главная особенность планет-гигантов — нет твёрдых поверхностей.

Все планеты-гиганты имеют атмосферы, которые состоят в основном из молекулярного водорода, гелия, метана, аммиака, воды и др. На планетах-гигантах присутствуют вещества, имеющиеся на Земле и схожих с ней планетах.

Изучение планет позволяет получать результаты, полезные для геологии и метеорологии, биологии и других наук.



? Вопросы

1. Сколько планет движется вокруг Солнца? 2. Перечислите планеты-гиганты и планеты земной группы. 3. Какими силами удерживаются спутники вокруг планет? 4. Какая существует зависимость между массой планеты и силой притяжения?

ЗАДАНИЕ

- С помощью Интернета подготовьте презентацию «Самые большие астероиды и их движение».

§ 30 ДИНАМОМЕТР

На практике часто приходится измерять силу, с которой одно тело действует на другое. Для измерения силы используется прибор, который называется **динамометр** (от греч. *динамис* — сила, *метрео* — измеряю).



Динамометр

Динамометры бывают различного устройства. Основная их часть — стальная пружина, которой придают разную форму в зависимости от назначения прибора. Устройство простейшего динамометра основывается на сравнении любой силы с силой упругости пружины.

Простейший динамометр можно изготовить из пружины с крючком, укреплённой на дощечке (рис. 72, *а*). К нижнему концу пружины прикрепляют указатель, а на доску наклеивают полоску белой бумаги.

Отметим на бумаге чёрточкой положение указателя при нерастянутой пружине. Эта отметка будет нулевой отметкой (см. рис. 72, *а*).

Затем к крючку будем подвешивать груз массой $\frac{1}{9,8}$ кг, т. е. 102 г. На этот груз будет действовать сила тяжести, равная 1 Н. Под действием этой силы (1 Н) пружина растянется, указатель опустится вниз. Его новое положение отмечаем на бумаге и ставим цифру 1 (рис. 72, *б*). После чего подвешиваем груз массой 204 г и ставим цифру 2. Это означает, что в таком положении сила упругости пружины равна 2 Н. Подвесив груз массой 306 г, наносим метку 3 и т. д.

Для того чтобы измерить десятые доли ньютона, нужно нанести деления — 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 и т. д. Для этого расстояния между отметками 0 и 1; 1 и 2; 2 и 3; 3 и 4 и далее делят на десять равных частей. Так можно сделать потому, что удлинение пружины Δl увеличивается во столько раз, во сколько увеличивается сила упругости пружины $F_{упр}$. Это следует из закона Гука: $F_{упр} = k\Delta l$, т. е. сила упругости тела при растяжении прямо пропорциональна изменению длины тела.

Проградуированная пружина и будет простейшим динамометром.

С помощью динамометра измеряют не только силу тяжести, но и другие силы (сила упру-

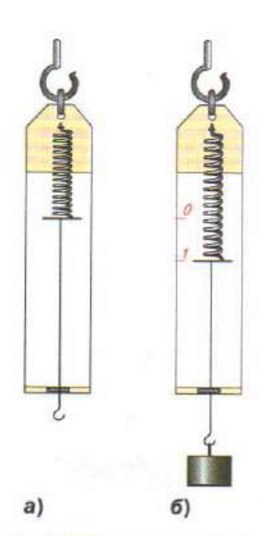


Рис. 72. Градуировка динамометра



Рис. 73. Ручной динамометр

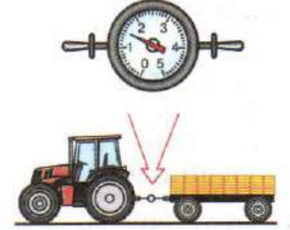


Рис. 74. Тяговый динамометр

гости, сила трения и т. д.). Например, для измерения силы различных мышечных групп человека используют **медицинские динамометры**. Для измерения мускульной силы руки при сжатии кисти в кулак применяют **ручной динамометр — силомер** (рис. 73).

Применяют также ртутные, гидравлические, электрические и другие динамометры.

В последнее время широко применяются электрические динамометры. Они состоят из датчика, который преобразует деформацию в электрический сигнал.

Для измерения больших сил, таких, например, как тяговые усилия тракторов, тягачей, локомотивов, морских и речных буксиров, используют специальные **тяговые динамометры** (рис. 74). Ими можно измерить силы до нескольких десятков тысяч ньютонов.



Вопросы

1. Как называют прибор для измерения силы? 2. Как изготовить простейший динамометр? 3. Как нанести на шкалу динамометра деления, соответствующие 0,1 Н? 4. Какие типы динамометров вам известны?

УПРАЖНЕНИЕ 11

1. Определите цену деления каждого прибора и силу тяжести, действующую на каждый груз (рис. 75).

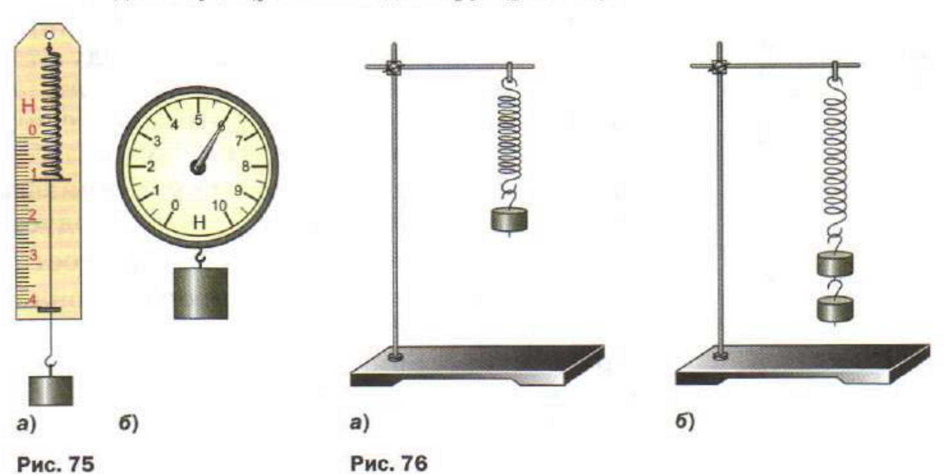


Рис. 75

Рис. 76

2. Чему равен вес каждого груза (см. рис. 75)? Укажите точку его приложения?

3. По рисунку 76 определите, с какой силой растягивается каждая пружина под действием подвешенного к ней груза (масса одного груза 102 г).

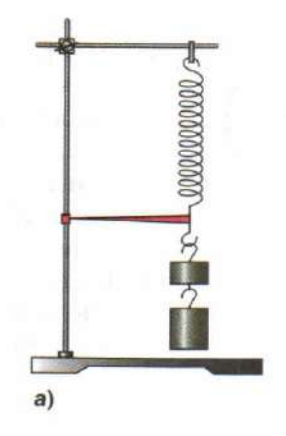
§ 31 СЛОЖЕНИЕ ДВУХ СИЛ, НАПРАВЛЕННЫХ ПО ОДНОЙ ПРЯМОЙ. РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ СИЛ

В большинстве случаев, с которыми мы встречаемся в жизни, на тело действует не одна, а сразу несколько сил. Так, например, на парашютиста, спускающегося на землю, действуют сила тяжести и сила сопротивления воздуха. На тело, висящее на пружине, действуют две силы: сила тяжести и сила упругости пружины.

В каждом подобном случае можно заменить несколько сил, в действительности приложенных к телу, одной силой, *равноценной по своему действию этим силам*.

Сила, которая производит на тело такое же действие, как несколько одновременно действующих сил, называется равнодействующей этих сил.

Найдём равнодействующую двух сил, действующих на тело по одной прямой в одну сторону. Для этого обратимся к опыту (рис. 77).



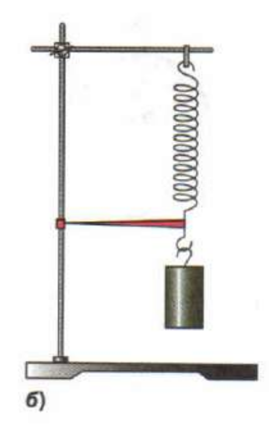


Рис. 77. Нахождение равнодействующей двух сил, действующих на тело по одной прямой

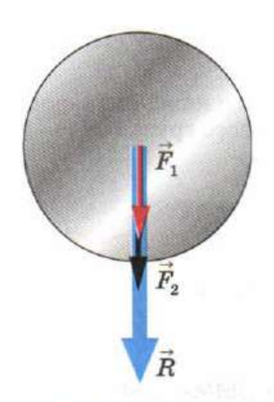


Рис. 78. Графическое изображение равнодействующей двух сил, действующих на тело по одной прямой

К пружине один под другим подвесим два груза массой 102 и 204 г, т. е. весом 1 и 2 Н (рис. 77, *а*). Отметим длину, на которую растянулась пружина. Снимем эти грузы, заменим одним грузом, который растягивает пружину на такую же длину (рис. 77, *б*). Вес этого груза оказывается равным 3 Н.

Из опыта следует, что: **равнодействующая сил, направленных по одной прямой в одну сторону, направлена в ту же сторону, а её модуль равен сумме модулей составляющих сил.**

На рисунке 78 равнодействующая сил, действующих на тело, обозначена буквой R, а слагаемые силы — буквами F_1 и F_2. В этом случае

$$\boldsymbol{R} = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2.$$

Выясним теперь, как найти равнодействующую двух сил, действующих на тело по одной прямой в разные стороны. Тело — столик динамометра. Поставим на столик гирю весом 5 Н, т. е. подействуем на него силой 5 Н, направленной вниз (рис. 79, *а*). Привяжем к столику нить и подействуем на него с силой, равной 2 Н (рис. 79, *б*), направленной вверх. Тогда динамометр покажет силу 3 Н. Эта сила есть равнодействующая двух сил: 5 Н и 2 Н.



Рис. 79. Нахождение равнодействующей двух сил, действующих на тело в противоположные стороны

Итак, **равнодействующая двух сил, направленных по одной прямой в противоположные стороны, направлена в сторону большей по модулю силы, а её модуль равен разности модулей составляющих сил** (рис. 80):

$$\boldsymbol{R} = \boldsymbol{F}_2 - \boldsymbol{F}_1.$$

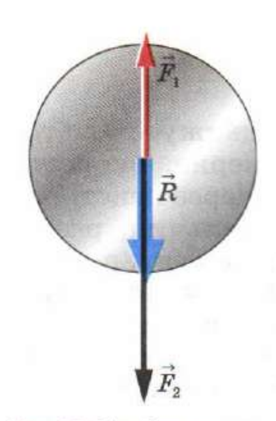


Рис. 80. Графическое изображение равнодействующей двух сил, действующих на тело в противоположные стороны

Если к телу приложены две равные и направленные противоположно силы, то равнодействующая этих сил равна нулю. Например, если в нашем опыте за конец нити потянуть силой 5 Н, то стрелка динамометра установится на нулевом делении. Равнодействующая двух сил в этом случае равна нулю:

$$R = 5\ \text{Н} - 5\ \text{Н},$$

$$\boldsymbol{R = 0}.$$

Тело под действием двух равных и противоположно направленных сил будет находиться в покое или двигаться равномерно и прямолинейно.

Например, в покое находятся тела, изображённые на рисунке 77, так как равнодействующая сил тяжести и упругости, действующих на грузы, равна нулю.

? Вопросы

1. Приведите примеры действия на тело нескольких сил. **2.** Какую силу называют равнодействующей нескольких сил? **3.** Опишите опыт, в котором определяют равнодействующую двух сил, направленных по одной прямой в одну сторону. Чему равна эта равнодействующая? **4.** Чему равна равнодействующая двух сил, направленных по одной прямой в противоположные стороны? **5.** Как будет двигаться тело под действием двух равных противоположно направленных сил?

УПРАЖНЕНИЕ 12

1. Человек, масса которого 70 кг, держит на плечах ящик массой 20 кг. С какой силой человек давит на землю?
2. В игре по перетягиванию каната участвуют четыре человека. Два из них тянут канат в одну сторону с силами 330 Н и 380 Н, два — в противоположную сторону с силами 300 Н и 400 Н. В каком направлении будет двигаться канат и чему равна равнодействующая этих сил? Сделайте чертёж.
3. Человек спускается на парашюте, двигаясь равномерно. Сила тяжести парашютиста вместе с парашютом 700 Н. Чему равна сила сопротивления воздуха?

§ 32 СИЛА ТРЕНИЯ



Рис. 81. Возникновение сил трения между санками и льдом

Санки, скатившись с горы, движутся по горизонтальному пути неравномерно, скорость их постепенно уменьшается, и через некоторое время они останавливаются. Мальчик, разбежавшись, скользит на коньках по льду, но, как бы ни был гладок лёд, мальчик всё-таки останавливается. Останавливается и велосипед, когда велосипедист прекращает вращать педали. Мы знаем, что причиной всякого изменения скорости движения (в данном случае уменьшения) является сила. Значит, и в рассмотренных примерах на каждое движущееся тело действовала сила.

При соприкосновении одного тела с другим возникает взаимодействие, препятствующее их относительному движению, которое называют **трением**. А силу, характеризующую это взаимодействие, называют **силой трения**. Она обозначается буквой F с индексом: $F_{тр}$ (рис. 81).

Сила трения — это ещё один вид силы, отличающийся от рассмотренных ранее силы тяжести и силы упругости.

Одной из причин возникновения силы трения является шероховатость поверхностей соприкасающихся тел. Даже гладкие на вид поверхности тел имеют неровности и царапины. На рисунке 82, *а* неровности изображены в увеличенном виде. Когда одно тело скользит или катится по поверхности другого, эти *неровности цепляются друг за друга*, что создаёт некоторую силу, задерживающую движение.

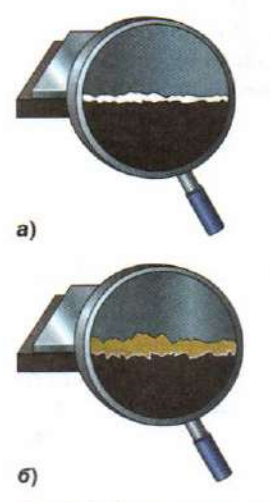
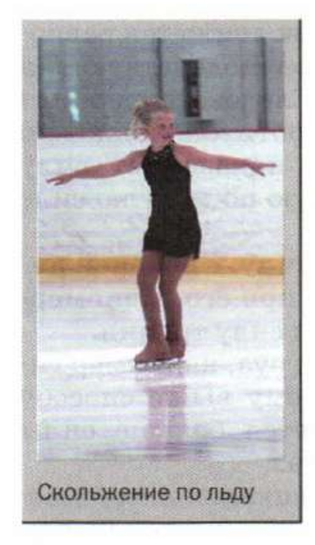


Рис. 82. Уменьшение силы трения с помощью смазки

Другая причина трения — *взаимное притяжение молекул соприкасающихся тел*.

Возникновение силы трения обусловлено главным образом первой причиной, когда поверхности тел шероховаты. Но если поверхности тел хорошо отполированы, при соприкосновении часть их молекул располагается очень близко друг к другу. В этом случае начинает


Скольжение по льду

заметно проявляться притяжение между молекулами соприкасающихся тел.

Силу трения можно уменьшить во много раз, если ввести между трущимися поверхностями смазку. Слой смазки (рис. 82, *б*) разъединяет поверхности трущихся тел. В этом случае соприкасаются не поверхности тел, а слои смазки. Смазка же в большинстве случаев жидкая, а трение слоёв жидкости меньше, чем твёрдых поверхностей. Например, на коньках малое трение при скольжении по льду объясняется также действием смазки. Между коньками и льдом образуется тонкий слой воды. В технике в качестве смазки широко применяют различные масла́.

При *скольжении* одного тела по поверхности другого возникает трение, которое называют **трением скольжения**. Например, такое трение возникает при движении саней и лыж по снегу.

Если же одно тело не скользит, а *катится* по поверхности другого, то трение, возникающее при этом, называют **трением качения**. Так, при движении колёс вагона, автомобиля, при перекатывании брёвен или бочек по земле проявляется трение качения.

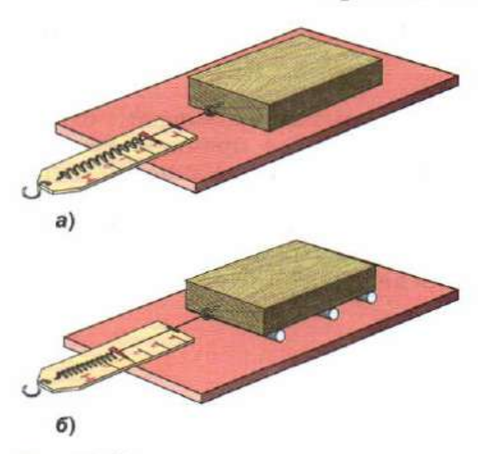


Рис. 83. Сравнение сил трения качения (*б*) и трения скольжения (*а*)

Силу трения можно измерить. Так, чтобы измерить силу трения скольжения деревянного бруска по доске или по столу, надо прикрепить к нему динамометр (рис. 83, *а*). Затем равномерно двигать брусок по доске, держа динамометр горизонтально. Что при этом покажет динамометр? На брусок в горизонтальном направлении действуют две силы. Одна сила — сила упругости пружины динамометра, направленная в сторону движения. Вторая сила — это сила трения, направленная про-

тив движения. Так как брусок движется равномерно, то это значит, что равнодействующая этих двух сил равна нулю. Следовательно, эти силы равны по модулю, но противоположны по направлению. Динамометр показывает силу упругости (силу тяги), равную по модулю силе трения.

Таким образом, **измеряя силу, с которой динамометр действует на тело при его равномерном движении, мы измеряем силу трения.**

Если на брусок положить груз, например гирю, и измерить по описанному выше способу силу трения, то она окажется больше силы трения, измеренной без груза.

Чем больше сила, прижимающая тело к поверхности, тем больше возникающая при этом сила трения.

Положив деревянный брусок на круглые палочки, можно измерить силу трения качения (рис. 83, *б*). Она оказывается меньше силы трения скольжения.

Таким образом, **при равных нагрузках сила трения качения всегда меньше силы трения скольжения.** Именно поэтому люди ещё в древности применяли катки для перетаскивания больших грузов, а позднее стали широко использовать колесо.



Рис. 84



1. Какие известные вам наблюдения и опыты показывают, что существует сила трения? 2. В чём заключаются причины трения? 3. Объясните, как смазка влияет на силу трения. 4. Какие виды трения вы знаете? 5. Как можно измерить силу трения? 6. Как показать, что сила трения зависит от силы, прижимающей тело к поверхности? 7. Как показать на опытах, что при равных нагрузках сила трения скольжения больше силы трения качения? Как это используется в технике?

УПРАЖНЕНИЕ 13

Лыжник спускается с горы и далее скользит по горизонтальной лыжне. На рисунке 84 изобразите силу трения и точку её приложения.

§ 33 ТРЕНИЕ ПОКОЯ

Мы познакомились с силой трения, возникающей при движении одного тела по поверхности другого. Но можно ли говорить о силе трения между соприкасающимися твёрдыми телами, если они находятся в покое?

Когда тело находится в покое на наклонной плоскости, оно удерживается на ней силой трения. Действительно, если бы не было трения, то тело под действием силы тяжести соскользнуло бы вниз по наклонной плоскости.

Рассмотрим случай, когда тело находится в покое на горизонтальной плоскости. Пусть, например, на полу стоит шкаф. Попробуем его передвинуть. Если на шкаф нажать слабо, то он не тронется с места. Почему? Действующая со стороны человека сила в этом случае уравновешивается силой трения между полом и ножками шкафа. Так как эта сила существует между покоящимися друг относительно друга телами, то эту силу принято называть **силой трения покоя**.



Рис. 85. Перемещение людей на ленте транспортёра

На рисунке 85 изображён транспортёр, который устанавливают в крупных торговых центрах для перемещения людей. Люди удерживаются на ленте транспортёра силой трения покоя.

Сила трения покоя удерживает гвоздь, вбитый в доску, не даёт развязаться банту на ленте, удерживает нитку, которой сшиты два куска ткани, и т. п.



1. Какая сила удерживает тела на наклонной плоскости? 2. Почему шкаф сдвигается с места под действием только определённой силы? Приведите примеры практического использования силы трения покоя.

§ 34 ТРЕНИЕ В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ



Рис. 86. Ребристые выступы на шинах позволяют увеличить трение

В природе и технике трение имеет большое значение. Трение может быть полезным и вредным. Когда оно полезно, его стараются увеличить, когда вредно — уменьшить.

Без трения покоя ни люди, ни животные не могли бы ходить по земле, так как при ходьбе мы отталкиваемся ногами от земли. Когда трение между подошвой обуви и землёй (или льдом) мало́, например в гололедицу, то отталкиваться от земли очень трудно, ноги при этом скользят. Чтобы ноги не скользили, тротуары посыпают песком. Это увеличивает силу трения между подошвой обуви и льдом.

Не будь трения, предметы выскальзывали бы из рук.

Сила трения останавливает автомобиль при торможении, но без трения покоя он не смог бы и начать движение. Колеса, вращаясь, проскальзывали бы, а автомобиль продолжал бы стоять на месте, буксовал. Чтобы увеличить трение, поверхность шин у автомобиля делают с ребристыми выступами (рис. 86). Зимой, когда дорога бывает особенно скользкая, её посыпают песком, специальными реагентами или очищают от снега.



Движение гусениц по листку

У многих растений и животных имеются различные органы, служащие для хватания (усики растений, хобот слона, цепкие хвосты лазающих животных). Все они имеют шероховатую поверхность для увеличения трения.

Вам уже известно, что во многих случаях трение вредно и с ним приходится бороться. Например, во всех машинах из-за трения нагреваются и изнашиваются движущиеся части. Для уменьшения трения соприкасающиеся поверхности делают гладкими, между ними вводят смазку. Чтобы уменьшить трение вращающихся валов машин и станков, их опирают на **под-**



Рис. 87. Подшипники

шипники (рис. 87). Деталь подшипника, непосредственно соприкасающуюся с валом, называют **вкладышем.** Вкладыши делают из твёрдых материалов — бронзы, чугуна или стали. Внутреннюю поверхность их покрывают особыми материалами, чаще всего баббитом (это сплав свинца или олова с другими металлами), и смазывают. Подшипники, в которых вал при вращении скользит по поверхности вкладыша, называют **подшипниками скольжения.**

Мы знаем, что сила трения качения при одинаковой нагрузке значительно меньше силы трения скольжения. На этом явлении основано применение шариковых и роликовых подшипников. В таких подшипниках вращающийся вал не скользит по неподвижному вкладышу подшипника, а катится по нему на стальных шариках или роликах.

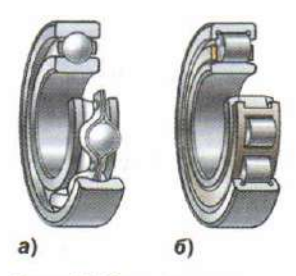


Рис. 88. Различные виды подшипников:
а — шариковый;
б — роликовый

Устройство простейших шарикового и роликового подшипников изображено на рисунке 88. Внутреннее кольцо подшипника, изготовленное из твёрдой стали, насажено на вал. Наружное же кольцо закреплено в корпусе машины. При вращении вала внутреннее кольцо катится на шариках или роликах, находящихся между кольцами.

Замена в машинах подшипников скольжения шариковыми или роликовыми подшипниками позволяет уменьшать силу трения в 20—30 раз.

Шариковые и роликовые подшипники используют в разнообразных машинах: автомобилях, токарных станках, электрических двигателях, велосипедах и т. д. Без подшипников невозможно представить современную промышленность и транспорт.



1. Приведите примеры, показывающие, что трение может быть полезным. Каково значение трения на транспорте? **2.** Приведите примеры, когда трение может быть вредным. **3.** Какие способы увеличения и уменьшения трения вы знаете? **4.** Для какой цели используют в машинах подшипник? **5.** Как устроен подшипник скольжения; шариковый подшипник? Какой из них заметнее уменьшает трение?

САМОЕ ГЛАВНОЕ

- Наиболее часто в окружающем мире происходят изменения, связанные с изменением положения тел относительно друг друга. Эти изменения в физике носят название *механическое движение*.
- Физические величины подразделяют на *векторные* и *скалярные*.
- Для каждой физической величины существуют свои *единицы измерения*.
- *Физическое явление*, при котором скорость тела сохраняется, когда на него не действуют другие тела, называют *инерцией*.
- Для всех тел характерно *свойство* по-разному менять свою скорость — *инертность*.
- Изменение скорости тела зависит от его массы, поэтому *масса характеризует инертность тела*.
- Масса тела зависит от размеров и вещества, из которого состоит тело.
- Физическую величину, которую определяют массой вещества, содержащегося в единице объёма, называют плотностью тела ρ:

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

- В результате действия силы тела могут *изменять свою скорость или деформироваться, т. е. изменять форму и размеры*.
- Сила тяжести ($F_{тяж}$) — это сила, с которой Земля притягивает к себе тело.
- Сила тяжести прямо пропорциональна массе тела: $\boldsymbol{F_{тяж} = mg}$.
- Сила тяжести приложена к *самому телу*.

- *Сила упругости* ($F_{упр}$) — это сила, которая возникает в результате деформации тела и стремится вернуть его в исходное положение.
- Сила упругости всегда направлена в сторону, противоположную перемещению частиц тела.
- *Закон Гука* гласит, что при растяжении или сжатии тела модуль силы упругости всегда прямо пропорционален изменению длины тела: $\boldsymbol{F_{упр} = k\Delta l}$.
- *Вес тела* (P) — это сила, с которой тело в результате взаимодействия с Землёй давит на опору или подвес.
- Вес тела приложен *к опоре* или *подвесу*.
- $\boldsymbol{P = F_{тяж}}$, если тело и опора неподвижны или движутся равномерно и прямолинейно.
- *Сила трения* ($F_{тр}$) — это сила, которая возникает при соприкосновении поверхностей тел и препятствует их перемещению.
- Сила трения направлена вдоль соприкасающихся поверхностей тел.
- Виды трения: трение покоя, трение скольжения, трение качения.

ПРОВЕРЬ СЕБЯ

1. В один столбик выпишите векторные физические величины, в другой — скалярные.
   Путь, перемещение, время, сила, скорость, масса, плотность, объём, вес.

2. Инерция — это:
   А. свойство, присущее всем телам
   Б. физическое явление, когда тело стремится сохранить свою скорость в отсутствие действия на него сил
   В. физическое явление движения тела равномерно и прямолинейно

3. Инертность — это:

А. физическое явление

Б. свойство тел по-разному менять свою скорость при взаимодействии

В. явление взаимодействия тел

4. Если известны масса тела и его объём, можно ли определить плотность тела?

А. нет, необходимо знать вещество, из которого оно состоит

Б. нет, необходимо знать ещё скорость движения тела

В. да, данных достаточно для определения плотности вещества

Г. нет, необходимо знать, в каком состоянии находится вещество, из которого состоит тело: в жидком или газообразном

5. Человек, поднимающийся на эскалаторе метро, движется относительно:

А. людей, стоящих рядом с ним

Б. внутренней стены здания

В. ступеней эскалатора

6. Установите соответствия между физическими величинами и формулами, по которым они определяются.

А. скорость тела	1) $t = \frac{s}{v}$
Б. путь	2) $v = \frac{s}{t}$
В. время	3) $s = vt$

7. Отдыхающий на водном велосипеде проплывёт расстояние 15 м за 30 с. Скорость движения водного велосипеда равна:

А. 0,5 м/с
Б. 2 м/с
В. 450 м/с
Г. 1,8 км/ч

8. Скорость пешехода 1,5 м/с. За 1 минуту он проходит путь:

А. 1,5 м
Б. 8 м
В. 80 м
Г. 0,25 м

9. Дельтапланерист летит со скоростью 15 м/с. Какое расстояние он пролетит за 60 с?

А. 900 м

Б. 4 м

В. 0,25 м

Г. 900 $\frac{км}{ч}$

10. Квадроцикл ухабистую дорогу в 25 км проезжает со скоростью 50 км/ч. Его время в пути:

А. 0,5 ч

Б. 2 ч

В. 12,5 ч

Г. 0,5 м



Выполните задания, предложенные в электронном приложении.

Глава 3

ДАВЛЕНИЕ ТВЁРДЫХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

§ 35 ДАВЛЕНИЕ. ЕДИНИЦЫ ДАВЛЕНИЯ

По рыхлому снегу человек идёт с большим трудом, глубоко проваливаясь при каждом шаге. Но, надев лыжи, он может идти, почти не проваливаясь в него (рис. 89). Почему? На лыжах или без лыж человек действует на снег с одной и той же силой, равной своему весу. Однако действие этой силы в обоих случаях различно, потому что различна площадь поверхности, на которую давит человек с лыжами и без лыж. Площадь поверхности лыжи почти в 20 раз больше площади подошвы. Поэтому, стоя на лыжах, человек действует на каждый квадратный сантиметр площади поверхности снега с силой, в 20 раз меньшей, чем стоя на снегу без лыж.



Рис. 89. Различное действие силы

Ученик, прикалывая кнопками газету к доске, действует на каждую кнопку с одинаковой силой. Однако кнопка, имеющая более острый конец, легче входит в дерево.

Значит, **результат действия силы зависит не только от её модуля, направления и точки приложения, но и от площади той поверхности, перпендикулярно которой она действует.**

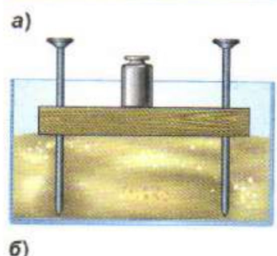
Этот вывод подтверждают опыты.

В углы небольшой доски вбивают гвозди. Сначала гвозди, вбитые в доску, устанавливают

на песке остриями вверх и кладут на доску гирю (рис. 90, *а*). В этом случае шляпки гвоздей только незначительно вдавливаются в песок. Затем доску переворачивают и ставят гвозди на остриё (рис. 90, *б*). В этом случае площадь опоры меньше, и под действием той же силы гвозди значительно углубляются в песок.



а)



б)

Рис. 90. Зависимость давления от площади опоры

От того, какая сила действует на каждую единицу площади поверхности, зависит результат действия этой силы.

В рассмотренных примерах силы действовали перпендикулярно поверхности тела. Вес человека был перпендикулярен поверхности снега; сила, действовавшая на кнопку, перпендикулярна поверхности доски.

Величина, равная отношению силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности, называется давлением.

Чтобы определить давление, надо силу, действующую перпендикулярно поверхности, разделить на площадь поверхности.

давление =

$$= \frac{\textbf{сила}}{\textbf{площадь}}$$

Обозначим величины, входящие в это выражение: давление — p, сила, действующая на поверхность, — F и площадь поверхности — S.

Тогда получим формулу

$$p = \frac{F}{S}.$$

$$p = \frac{F}{S}$$

Понятно, что бо́льшая по значению сила, действующая на ту же площадь, будет производить большее давление.

За единицу давления принимается такое давление, которое производит сила в 1 Н, *действующая на поверхность площадью* 1 м^2 *перпендикулярно этой поверхности.*

Единица давления — *ньютон на квадратный метр* $\left(1\ \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}\right)$. В честь французского учёного

Блеза Паскаля она называется *паскалем* **(Па)**. Таким образом,

$$1\ \text{Па} = 1\ \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$



Используются также другие единицы давления: *гектопаскаль* **(гПа)** и *килопаскаль* **(кПа)**.

1 кПа = 1000 Па   1 Па = 0,001 кПа

1 гПа = 100 Па   1 Па = 0,01 гПа

Пример. Рассчитать давление, производимое на пол мальчиком, масса которого 45 кг, а площадь подошв его ботинок, соприкасающихся с полом, равна 300 см^2.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	СИ	Решение:
$m = 45$ кг $S = 300$ см^2	 0,03 м^2	$p = \frac{F}{S}$, $F = P$,
p — ?		$P = gm$,

$$P = 9{,}8\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 45\ \text{кг} \approx 450\ \text{Н},$$

$$p = \frac{450\ \text{Н}}{0{,}03\ \text{м}^2} = 15\,000\ \text{Па} = 15\ \text{кПа}.$$

Ответ: $p = 15$ кПа.

? Вопросы

1. Приведите примеры, показывающие, что действие силы зависит от площади опоры, на которую действует эта сила. 2. Почему человек, идущий на лыжах, не проваливается в снег? 3. Почему острая кнопка легче входит в дерево, чем тупая? 4. На каком опыте можно показать, что действие силы зависит от площади опоры? 5. Какие вы знаете единицы давления?

УПРАЖНЕНИЕ 14

1. Выразите в паскалях давление: 5 гПа; 0,02 $\frac{\text{Н}}{\text{см}^2}$; 0,4 кПа; 10 $\frac{\text{Н}}{\text{см}^2}$.

   Выразите в гектопаскалях и килопаскалях давление: 10 000 Па; 5800 Па.

2. Гусеничный трактор ДТ-75М массой 6610 кг имеет опорную площадь обеих гусениц 1,4 м^2. Определите давление этого трактора на почву. Во сколько раз оно больше давления, производимого мальчиком (см. пример в § 35)?

3. Человек нажимает на лопату силой 600 Н. Какое давление оказывает лопата на почву, если ширина её лезвия 20 см, а толщина режущего края 0,5 мм? Зачем лопаты остро затачивают?

4. Мальчик массой 45 кг стоит на лыжах. Длина каждой лыжи 1,5 м, ширина 10 см. Какое давление оказывает мальчик на снег? Сравните его с давлением, которое производит мальчик, стоящий без лыж.

ЗАДАНИЕ

- В стеклянную ёмкость насыпьте песка. Наполните пластиковую бутылку с длинным горлышком водой, закройте крышкой и поставьте на песок. Затем переверните бутылку вверх дном и снова поставьте на песок. Объясните, почему во втором случае бутылка глубже вошла в песок.

§ 36 СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ И УВЕЛИЧЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Тяжёлый гусеничный трактор производит на почву давление 40—50 кПа, т. е. всего в 2—3 раза больше, чем давление мальчика массой 45 кг. Это объясняется тем, что вес трактора распределяется на бóльшую площадь. А мы установили, что **чем больше площадь опоры, тем** меньше давление, производимое одной и той же силой на эту опору.

В зависимости от того, хотят ли получить малое или большое давление, площадь опоры увеличивают или уменьшают. Например, для того чтобы грунт мог выдержать давление возводимого здания, увеличивают площадь нижней части фундамента.



Рис. 91. Увеличение площади опоры для уменьшения давления на поверхность

Шины грузовых автомобилей и шасси самолётов делают значительно шире, чем легковых (рис. 91). Особенно широкими делают шины у автомобилей, предназначенных для передвижения в пустынях.


Трактор и болотоход

Тяжёлые машины, такие, как трактор, танк или болотоход, имея большую опорную площадь гусениц, проходят по болотистой местности, по которой не пройдёт человек.

С другой стороны, при малой площади поверхности можно небольшой силой создать большое давление. Например, вдавливая кнопку в доску, мы действуем на неё с силой около 50 Н. Так как площадь острия кнопки примерно 1 мм^2, то давление, производимое ею, равно

$$p = \frac{50\ \text{Н}}{0{,}000001\ \text{м}^2} = 50\,000\,000\ \text{Па} = 50\,000\ \text{кПа}.$$

Это давление в 1000 раз больше давления, производимого гусеничным трактором на почву.

Лезвие режущих и остриё колющих инструментов (ножей, ножниц, резцов, пил, игл и др.) остро оттачивают. Острое лезвие имеет маленькую площадь, поэтому при помощи даже малой силы создаётся большое давление, и таким инструментом легко работать.

Режущие и колющие приспособления встречаются и в живой природе: это зубы, когти, клювы, шипы и др. — все они из твёрдого материала, гладкие и очень острые.

? Вопросы 1. Приведите примеры использования больших площадей опоры для уменьшения давления. 2. Зачем у сельскохозяйственных машин делают колёса с широкими ободами? 3. Почему режущие и колющие инструменты оказывают на тела очень большое давление?

УПРАЖНЕНИЕ 15

1. Рассмотрите устройство плоскогубцев и клещей (рис. 92). При помощи какого инструмента можно произвести большее давление на зажатое тело, действуя одинаковой силой?
2. Для спасения человека, провалившегося под лёд, ему бросают широкую доску, не приближаясь к краю полыньи (рис. 93). Зачем?
3. Зачем под гайку подкладывают широкое металлическое кольцо — шайбу. Почему шайба особенно необходима при скреплении болтами деревянных частей?



Рис. 92

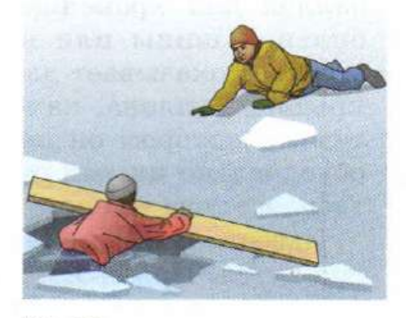


Рис. 93

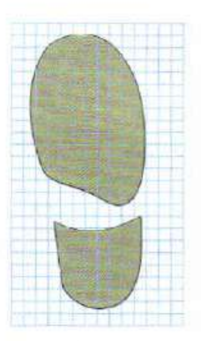


Рис. 94



ЗАДАНИЕ

1. Зная свою массу и площадь ботинка, вычислите, какое давление вы производите при ходьбе и стоя на месте.

   Указание. Площадь опоры ботинка определите следующим образом. Поставьте ногу на лист клетчатой бумаги и обведите контур той части подошвы, на которую опирается нога (рис. 94). Сосчитайте число полных квадратиков, попавших внутрь контура, и прибавьте к нему половину числа неполных квадратиков, через которые прошла линия контура. Полученное число умножьте на площадь одного квадратика $\left(\text{площадь квадратика на листе, взятом из школьной тетради, равна } \frac{1}{4}\ \text{см}^2\right)$ и найдите площадь подошвы.

2. Возьмите небольшую иголку. Вставьте её в пробку. Острый конец иголки должен быть на уровне нижнего края пробки. Верхний — на уровне верхнего. Затем поставьте пробку с иголкой на 10- или 50-копеечную монетку. (Монетку желательно положить на деревянную доску.) Резко ударьте молотком по пробке. Иголка пробьёт монетку. Объясните это явление.

3. Подготовьте сообщение о необходимости уменьшения или увеличения давления в быту и технике, используя рисунки учебника и Интернет.

§ 37 ДАВЛЕНИЕ ГАЗА

Мы уже знаем, что газы, в отличие от твёрдых тел и жидкостей, заполняют весь сосуд, в котором они находятся. Например, стальной

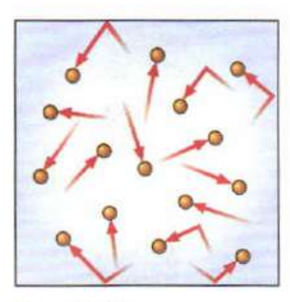
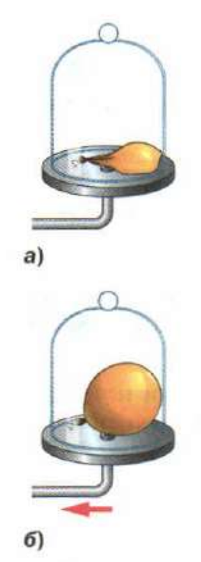


Рис. 95. Хаотическое движение молекул газа

баллон для хранения газов, камера автомобильной шины или волейбольный мяч. При этом газ оказывает давление на стенки, дно и крышку баллона, камеры или любого другого тела, в котором он находится. Давление газа обусловлено иными причинами, чем давление твёрдого тела на опору.

Известно, что молекулы газа беспорядочно движутся. При своём движении они сталкиваются друг с другом, а также со стенками сосуда, в котором находится газ (рис. 95). Молекул в газе много, потому и число их ударов очень велико. Например, число ударов молекул воздуха, находящегося в комнате, о поверхность площадью 1 см^2 за 1 с выражается двадцатитрёхзначным числом. Хотя сила удара отдельной молекулы мала, но действие всех молекул на стенки сосуда значительно, оно и создаёт давление газа.

Итак, **давление газа на стенки сосуда (и на помещённое в газ тело) вызывается ударами молекул газа.**



а)

б)

Рис. 96. Опыт, демонстрирующий, что давление газа по всем направлениям одинаково

Рассмотрим следующий опыт. Под колокол воздушного насоса помещают завязанный резиновый шарик. Он содержит небольшое количество воздуха (рис. 96, *а*) и имеет неправильную форму. Затем насосом откачивают воздух из-под колокола. Оболочка шарика, вокруг которой воздух становится всё более разреженным, постепенно раздувается и принимает форму шара (рис. 96, *б*).

Как объяснить этот опыт?

В нашем опыте движущиеся молекулы газа непрерывно ударяют о стенки шарика внутри и снаружи. При откачивании воздуха число молекул в колоколе вокруг оболочки шарика уменьшается. Но внутри завязанного шарика их число не изменяется. Поэтому число ударов молекул о внешние стенки оболочки становится меньше, чем число ударов о внутренние

стенки. Шарик раздувается до тех пор, пока сила упругости его резиновой оболочки не станет равной силе давления газа. Оболочка шарика принимает форму шара. Это показывает, что *газ давит на её стенки по всем направлениям одинаково*. Иначе говоря, число ударов молекул, приходящихся на каждый квадратный сантиметр площади поверхности, по всем направлениям одинаково. Одинаковое давление по всем направлениям характерно для газа и является следствием беспорядочного движения огромного числа молекул.

Попытаемся уменьшить объём газа, но так, чтобы масса его осталась неизменной. Это значит, что в каждом кубическом сантиметре газа молекул станет больше, плотность газа увеличится. Тогда число ударов молекул о стенки сосуда возрастёт, т. е. возрастёт давление газа. Это можно подтвердить опытом.

На рисунке 97, *а* изображена стеклянная трубка, один конец которой закрыт тонкой резиновой плёнкой. В трубку вставлен поршень. При вдвигании поршня объём воздуха в трубке уменьшается, т. е. газ сжимается (рис. 97, *б*). Резиновая плёнка при этом выгибается наружу, указывая на то, что давление воздуха в трубке увеличилось.

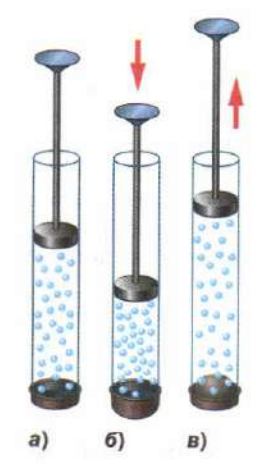


Рис. 97. Изменение давления газа при изменении его объёма

Наоборот, при увеличении объёма этой же массы газа число молекул в каждом кубическом сантиметре уменьшится. От этого уменьшится число ударов о стенки сосуда — давление газа станет меньше. Действительно, при вытягивании поршня из трубки объём воздуха увеличивается, плёнка прогибается внутрь сосуда (рис. 97, *в*). Это указывает на уменьшение давления воздуха в трубке. Такие же явления наблюдались бы, если бы вместо воздуха в трубке находился любой другой газ.

Итак, **при уменьшении объёма газа его давление увеличивается, а при увеличении объё-**



Рис. 98. Баллон для хранения газов

ма давление уменьшается при условии, что масса и температура газа остаются неизменными.

А как изменится давление газа, если нагреть его при постоянном объёме? Известно, что скорость движения молекул газа при нагревании увеличивается. Двигаясь быстрее, молекулы будут ударять о стенки сосуда чаще. Кроме того, каждый удар молекулы о стенку сосуда станет сильнее. Вследствие этого стенки сосуда будут испытывать большее давление.

Следовательно, *давление газа в закрытом сосуде тем больше, чем выше температура газа*, при условии, что масса газа и объём не изменяются.

Из этих опытов можно сделать общий вывод, **что давление газа тем больше, чем чаще и сильнее молекулы ударяют о стенки сосуда.**

Для хранения и перевозки газов их сильно сжимают. При этом давление их возрастает, газы приходится заключать в специальные, очень прочные стальные баллоны (рис. 98). В таких баллонах, например, содержат сжатый воздух в подводных лодках, кислород, используемый при сварке металлов.



1. Какие свойства газов отличают их от твёрдых тел и жидкостей? **2.** Как объясняют давление газа на основе учения о движении молекул? **3.** Как можно на опыте показать, что газ производит давление на стенки сосуда, в котором он находится? **4.** Из чего можно заключить, что газ производит одинаковое давление по всем направлениям? **5.** Почему давление газа увеличивается при сжатии и уменьшается при расширении? **6.** Почему сжатые газы содержат в специальных баллонах?

ЗАДАНИЕ

- Надуйте воздушный шарик и крепко его завяжите. Положите в любую ёмкость. Вначале облейте его водой, охлаждённой в морозильной камере (до 5°C), затем горячей водой (70°C). Дайте объяснение наблюдаемому явлению.

§ 38 ПЕРЕДАЧА ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТЯМИ И ГАЗАМИ. ЗАКОН ПАСКАЛЯ



ПАСКАЛЬ БЛЕЗ

(1623—1662)

Открыл и исследовал ряд важных свойств жидкостей и газов. Опытами подтвердил существование атмосферного давления

В отличие от твёрдых тел отдельные слои и молекулы жидкости или газа могут свободно перемещаться относительно друг друга по всем направлениям. Достаточно, например, слегка подуть на поверхность воды в стакане, чтобы вызвать движение воды. На реке или озере при малейшем дуновении ветра появляется рябь.

Подвижностью частиц газа и жидкости объясняется, *что давление, производимое на них, передаётся не только в направлении действия силы, а в каждую точку жидкости или газа*. Рассмотрим это явление подробнее.

На рисунке 99, *а* изображён сосуд, в котором содержится газ (или жидкость). Частицы газа равномерно распределены по всему сосуду. Сосуд закрыт поршнем, который может перемещаться вверх и вниз.

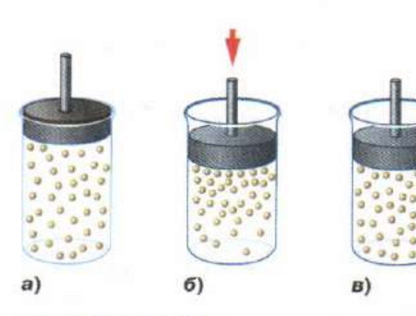


Рис. 99. Передача давления частицам газа (или жидкости) вследствие движения молекул

Прилагая некоторую силу, заставим поршень немного войти в сосуд и сжать газ, находящийся непосредственно под ним. Тогда частицы расположатся в этом месте более плотно, чем прежде (рис. 99, *б*). Благодаря подвижности частицы газа будут перемещаться по всем направлениям. Вследствие этого их расположение опять станет равномерным, но более плотным, чем раньше (рис. 99, *в*). Поэтому давление газа всюду возрастёт. Значит, добавочное давление передаётся всем частицам газа или жидкости. Так, если давление на газ около самого поршня увеличится на

1 Па, то во всех точках *внутри* газа давление станет больше прежнего на столько же. На 1 Па увеличится давление и на стенки сосуда, и на дно, и на поршень.

Давление, производимое на жидкость или газ, передаётся в любую точку без изменений во всех направлениях.

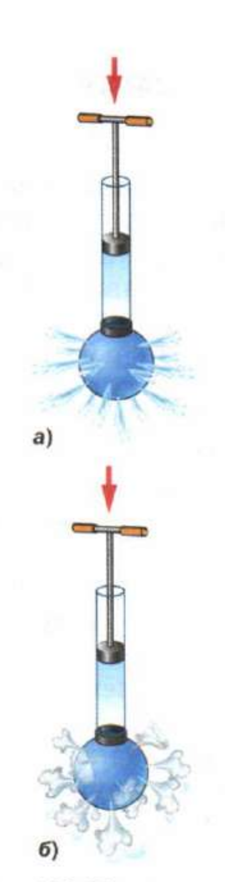


Рис. 100. Передача давления во все стороны без изменений: *а* — жидкостями; *б* — газами

Это утверждение называют *законом Паскаля*.

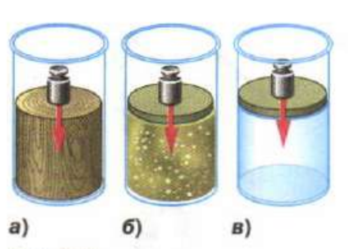
На основе закона Паскаля легко объяснить следующие опыты.

На рисунке 100, *а* изображён полый шар, имеющий в различных местах узкие отверстия. К шару присоединена трубка, в которую вставлен поршень. Если набрать воды в шар и вдвинуть в трубку поршень, то вода польётся из всех отверстий шара. В этом опыте поршень давит на поверхность воды в трубке. Частицы воды, находящиеся под поршнем, уплотняясь, передают его давление другим слоям, лежащим глубже. Таким образом, давление поршня передаётся в каждую точку жидкости, заполняющей шар. В результате часть воды выталкивается из шара в виде одинаковых струек, вытекающих из всех отверстий.

Если шар заполнить дымом, то при вдвигании поршня в трубку из всех отверстий шара начнут выходить одинаковые струйки дыма (рис. 100, *б*). Это подтверждает, что и *газы передают производимое на них давление во все стороны без изменений*.



1. Как передают давление жидкости и газы? **2.** Пользуясь рисунком 99, объясните, почему жидкости и газы передают давление во все стороны без изменений. **3.** На каком опыте можно показать особенность передачи давления жидкостями и газами? **4.** При изготовлении бутылок через трубку вдувают воздух, и расплавленное стекло принимает нужную форму (см. рис. 29). Какое физическое явление здесь используют?



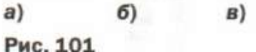


Рис. 101



Рис. 102



Рис. 103

 **УПРАЖНЕНИЕ 16**

1. По рисунку 101 объясните передачу давления твёрдым, сыпучим телами и жидкостью. Изобразите стрелками, как передаётся давление.
2. На рисунке 102 показаны два сосуда, заполненные газом. Масса газов одинакова. В каком сосуде давление газа на дно и стенки сосуда больше? Ответ обоснуйте.
3. Автомашину заполнили грузом. Изменилось ли давление в камерах колёс автомашины? Одинаково ли оно в верхней и нижней частях камеры?
4. Объясните явление, показанное на рисунке 103. Как изменится наблюдаемое явление, если увеличить сжатие?

 **ЗАДАНИЕ**

- Из пластмассовой бутылочки с завинчивающейся пробкой изготовьте прибор для демонстрации закона Паскаля (придумайте сами, как это сделать, опробуйте прибор).

Это любопытно...

Пневматические машины и инструменты

Свойство газов передавать давление используют в технике при устройстве различных пневматических машин (от лат. *пневматикос* — воздушный; это машины, работающие посредством сжатого воздуха) и инструментов.

Сжатый воздух, например, применяют в работе *заклёпочных* и *отбойных молотков*.

На рисунке 104 (справа) показана схема устройства отбойного молотка. Сжатый воздух подают по шлангу *1*. Особое устройство *2*, называемое золотником, направляет его поочерёдно то в верхнюю, то в нижнюю часть

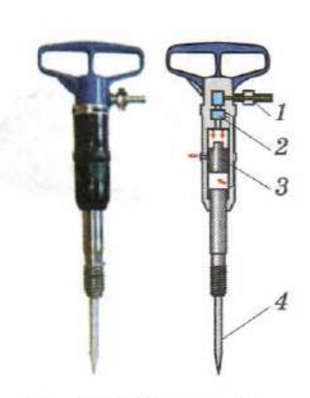


Рис. 104. Внешний вид и устройство пневматического молотка

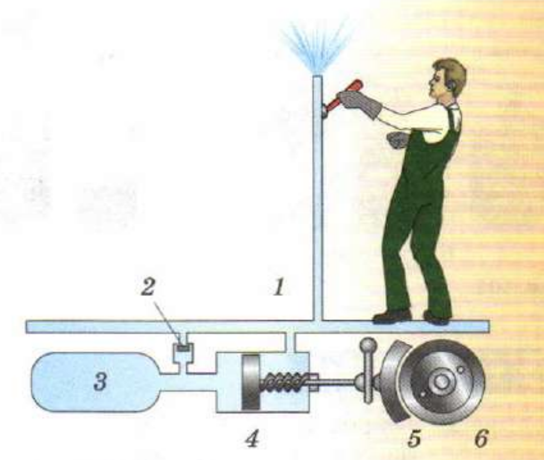


Рис. 105. Устройство пневматического тормоза

цилиндра. Поэтому воздух давит на поршень *3* то с одной, то с другой стороны, что вызывает быстрое возвратно-поступательное движение поршня и пики молота *4*. Последняя наносит быстро следующие друг за другом удары, внедряется в грунт или в уголь и откалывает его куски.

Существуют *пескоструйные аппараты*, которые дают сильную струю воздуха, смешанного с песком. Их используют для очистки стен. Нередко можно видеть работу специальных аппаратов, применяемых для окраски стен, где краску распыляет сжатый воздух.

Сжатый воздух применяют в электропневматических тормозах, а также для открывания дверей вагонов поездов метро и троллейбусов.

На рисунке 105 изображена схема устройства пневматического тормоза железнодорожного вагона. Когда магистраль *1*, тормозной цилиндр *4* и резервуар *3* заполнены сжатым воздухом, его давление на поршень тормозного цилиндра справа и слева одинаково, тормозные колодки *5* при этом не касаются колёс *6*.

При открывании стоп-крана сжатый воздух выпускается из магистральной трубы, вследствие чего давление в правой части тормозного цилиндра уменьшается. Сжатый же воздух, находящийся в левой части тормозного цилиндра и в резервуаре, выйти не может, этому мешает клапан *2*. Под действием сжатого воздуха поршень тормозного цилиндра перемещается вправо, прижимая тормозную колодку к ободу колеса, отчего и происходит торможение.

При наполнении магистральной трубы сжатым воздухом тормозные колодки отжимаются пружинами от колёс.

§ 39 ДАВЛЕНИЕ В ЖИДКОСТИ И ГАЗЕ

На жидкости, как и на все тела на Земле, действует сила тяжести. Поэтому каждый слой жидкости, налитой в сосуд, своим весом создаёт давление на другие слои, которое по закону Паскаля передаётся по всем направлениям. Следовательно, внутри жидкости существует давление. В этом можно убедиться на опыте.



Рис. 106. Прогибание плёнки при увеличении столба воды

В стеклянную трубку, нижнее отверстие которой закрыто тонкой резиновой плёнкой, нальём воду. Под действием веса жидкости дно трубки прогнётся (рис. 106, *а*).

Опыт показывает, что чем выше столб воды над резиновой плёнкой, тем больше она прогибается (рис. 106, *б*). Но всякий раз после того, как резиновое дно прогнулось, вода в трубке приходит в равновесие (останавливается), так как, кроме силы тяжести, на воду действует сила упругости растянутой резиновой плёнки.

Опустим трубку с резиновым дном, в которую налита вода, в другой, более широкий сосуд с водой (рис. 107, *а*). Мы увидим, что по мере опускания трубки резиновая плёнка постепенно выпрямляется. Полное выпрямление плёнки показывает, что силы, действующие на неё сверху и снизу, равны (рис. 107, *б*). Наступает полное выпрямление плёнки тогда, когда уровни воды в трубке и сосуде совпадают.

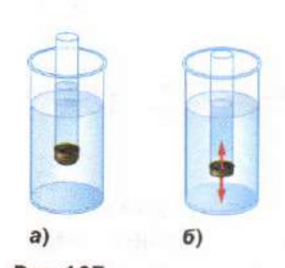
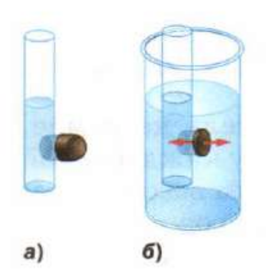


Рис. 107. Выпрямление плёнки при одинаковом уровне воды в трубке и в сосуде

Такой же опыт можно провести с трубкой, в которой резиновая плёнка закрывает боковое отверстие, как это показано на рисунке 108, *а*. Погрузим эту трубку с водой в другой сосуд с водой, как это изображено на рисунке 108, *б*. Мы заметим, что плёнка снова выпрямится, как только уровни воды в трубке и в сосуде сравняются. Это означает, что силы, действующие на резиновую плёнку, одинаковы с обеих сторон.

Возьмём сосуд, дно которого может отпадать. Опустим его в банку с водой (рис. 109, *а*). Дно при этом окажется плотно прижатым к краю со-



а) б)

Рис. 108. Выпрямление плёнки при равенстве сил, действующих на неё с обеих сторон



а) б)

Рис. 109. Отпадание дна сосуда под действием силы тяжести

суда и не отпадёт. Его прижимает сила давления воды, направленная снизу вверх.

Будем осторожно наливать воду в сосуд и следить за его дном. Как только уровень воды в сосуде совпадёт с уровнем воды в банке, дно отпадёт от сосуда (рис. 109, *б*).

В момент отрыва на дно давит сверху вниз столб жидкости в сосуде, а снизу вверх на дно передаётся давление такого же по высоте столба жидкости, но находящейся в банке. Оба эти давления одинаковы, дно же отходит от цилиндра вследствие действия на него силы тяжести.

Выше были описаны опыты с водой, но если взять вместо воды другую жидкость, то результаты опыта будут те же.

Итак, опыты показывают, что **внутри жидкости существует давление и на одном и том же уровне оно одинаково по всем направлениям. С глубиной давление увеличивается.**

Газы в этом отношении не отличаются от жидкостей, ведь они тоже имеют вес. Но надо помнить, что плотность газа в сотни раз меньше плотности жидкости. Вес газа, находящегося в сосуде, мал, и его «весовое» давление во многих случаях можно не учитывать.



1. Как на опытах показать, что давление внутри жидкости на разных уровнях разное, а на одном и том же уровне во всех направлениях одинаково? **2.** Почему во многих случаях не принимают во внимание давление газа, созданное его весом?

Это любопытно...

Гидростатический парадокс

Свойством жидкости передавать во все стороны производимое на неё давление объясняется явление, известное в физике под названием «гидростатический парадокс» (парадоксом называют неожиданное явление, не соответствующее обычным представлениям). Рассмотрим его.

На рисунке 110 изображены три сосуда различной формы, но с одинаковой площадью дна и одинаковой высотой столба жидкости в них. Масса

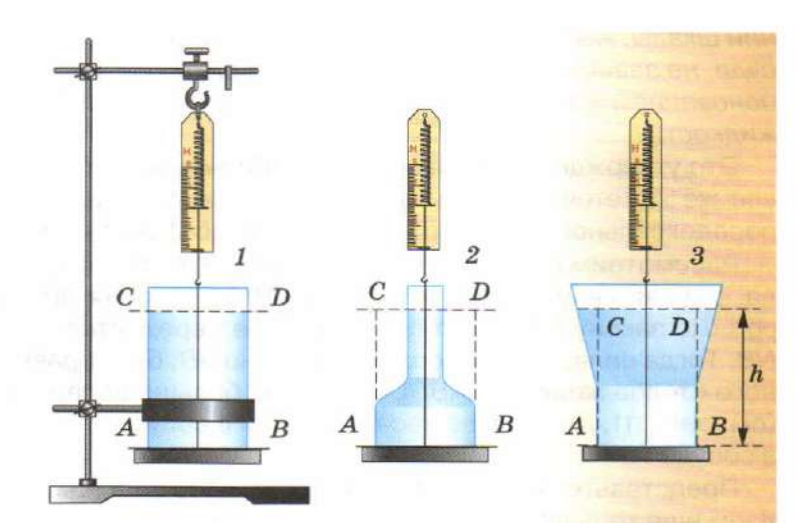


Рис. 110. Гидростатический парадокс

жидкости в этих сосудах различна, но давление на дно во всех трёх сосудах одинаково, его можно рассчитать по формуле $p = g\rho h$.

А так как площадь дна у всех сосудов одинакова, то и сила, с которой жидкость давит на дно этих сосудов, одна и та же. Она равна весу вертикального столба *ABDC* жидкости: $P = g\rho hS$, здесь S — площадь дна.

Этот вывод легко проверить на опыте с прибором, изображённым на рисунке 111, *а*. Дном трёх сосудов (*1*, *2*, *3*) служит резиновая плёнка, укреплённая в стойке прибора. Сосуды поочерёдно ввинчивают в стойку прибора и наливают в них воду, дно при этом прогибается, и его движение передаётся стрелке. Опыт показывает, что *при одинаковых высотах столбов воды в сосудах стрелка отклоняется на одно и то же число деле-*

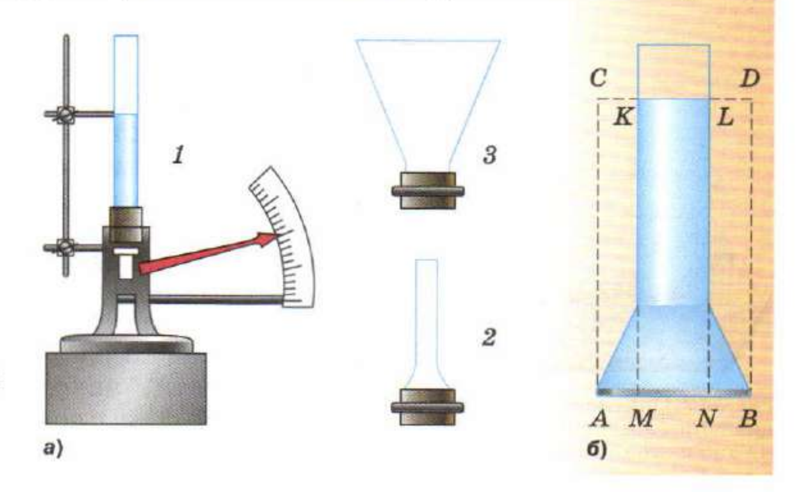


Рис. 111. Экспериментальная проверка гидростатического парадокса

ний шкалы. А это означает, что *сила, с которой жидкость давит на дно сосуда, не зависит от формы сосуда, она равна весу вертикального столба, основанием которого является дно сосуда, а высотой — высота столба жидкости*.

Это утверждение, хотя оно нами обосновано и подтверждено опытом, всё же кажется неправдоподобным — парадоксальным. Однако ничего парадоксального в нём нет, и его можно объяснить законом Паскаля.

Рассмотрим рисунок 111, *б*. На площадку *MN* дна сосуда действует сила, равная весу столба жидкости *KMNL*, которая производит давление ρgh. По закону Паскаля такое давление передаётся и на площадки *AM* и *NB*. Тогда сила, действующая на всё дно *AB*, будет равна весу вертикального столба жидкости *ABDC*. Эта сила больше веса жидкости в сосуде *3* (см. рис. 111, *а*), меньше веса жидкости в сосуде *2* и равна весу жидкости в сосуде *1*.

Представьте себе, что суженную часть сосуда (см. рис. 111, *б*) мы сделаем ещё тоньше и длиннее. Тогда совсем небольшим количеством воды мы сможем создать большое давление на дно. Таким опытом поразил своих современников в 1648 г. Паскаль. В прочную, наполненную водой и закрытую со всех сторон бочку он вставил узкую трубку и, поднявшись на балкон второго этажа дома, вылил в эту трубку кружку воды. Давление на стенки бочки так возросло, что планки (клёпки) бочки разошлись и вода из бочки стала выливаться.

§ 40 РАСЧЁТ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ НА ДНО И СТЕНКИ СОСУДА

Рассмотрим, как можно рассчитать давление жидкости на дно и стенки сосуда. Решим сначала задачу для сосуда, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда (рис. 112).

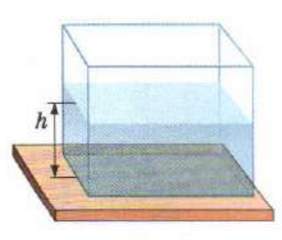


Рис. 112. Определение давления жидкости на дно и стенки сосуда

Сила F, с которой жидкость, налитая в этот сосуд, давит на его дно, равна весу P жидкости, находящейся в сосуде. Вес жидкости можно определить, зная её массу m. Массу, как известно, можно вычислить по формуле $m = \rho V$. Объём жидкости, налитой в выбранный нами сосуд, легко рассчитать. Если высоту столба жидкости, находящейся в сосуде, обозначить буквой h, а площадь дна сосуда S, то $V = Sh$.

Масса жидкости $m = \rho V$, или $m = \rho Sh$.

Вес этой жидкости $P = gm$, или $P = g\rho Sh$.

Так как вес столба жидкости равен силе, с которой жидкость давит на дно сосуда, то, разделив вес P на площадь S, получим давление жидкости p:

$$p = \frac{P}{S}, \text{ или } p = \frac{g\rho Sh}{S},$$

т. е.

$p = g\rho h$

$$p = g\rho h.$$

Мы получили формулу для расчёта давления жидкости на дно сосуда. Из этой формулы видно, что *давление жидкости на дно сосуда зависит только от плотности и высоты столба жидкости*.

Следовательно, по выведенной формуле можно рассчитывать давление жидкости, налитой в сосуд *любой формы*. Кроме того, по ней можно вычислить и давление на стенки сосуда. Давление внутри жидкости, в том числе давление снизу вверх, также рассчитывается по этой формуле, так как давление на одной и той же глубине одинаково по всем направлениям.

При расчёте давления по формуле $p = g\rho h$ надо плотность ρ выражать в килограммах на кубический метр $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$, а высоту столба жидкости h — в метрах (м), $g = 9{,}8\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$, тогда давление будет выражено в паскалях (Па).

Пример. Определите давление нефти на дно цистерны, если высота столба нефти 10 м, а её плотность $800\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

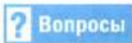
Запишем условие задачи и решим её.



Цистерны для хранения нефти

Дано:	Решение:
$h = 10$ м $\rho = 800\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$p = g\rho h$, $p = 9{,}8\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 800\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10\ \text{м} \approx$ $\approx 80\,000\ \text{Па} \approx 80\ \text{кПа}$.
p — ?	

Ответ: $p \approx 80$ кПа.



1. Выведите формулу для расчёта давления жидкости на дно сосуда, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда. 2. От каких величин и как зависит давление жидкости на дно сосуда? 3. По какой формуле рассчитывают давление жидкости на стенки сосуда, давление внутри жидкости?

УПРАЖНЕНИЕ 17

1. Определите давление на глубине 0,6 м в воде, керосине, ртути.
2. Вычислите давление воды на дно одной из глубочайших морских впадин — Марианской, глубина которой 10 900 м. Плотность морской воды 1030 $\frac{кг}{м^3}$.
3. На рисунке 113 изображена футбольная камера, соединённая с вертикально расположенной стеклянной трубкой. В камере и трубке находится вода. На камеру положена дощечка, а на неё — гиря массой 5 кг. Высота столба воды в трубке 1 м. Определите площадь соприкосновения дощечки с камерой.

ЗАДАНИЕ

1. Возьмите высокий сосуд. В боковой поверхности его на разной высоте от дна сделайте три небольших отверстия. Закройте отверстия спичками и наполните сосуд водой. Откройте отверстия и проследите за струйками вытекающей воды (рис. 114). Почему вода вытекает из отверстий? Из чего следует, что давление увеличивается с глубиной?
2. Налейте в стеклянный сосуд (стакан или банку) произвольное количество воды. Сделайте необходимые измерения и рассчитайте давление воды на дно сосуда.

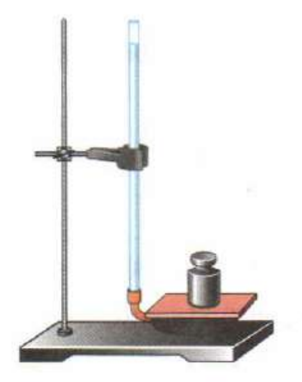


Рис. 113

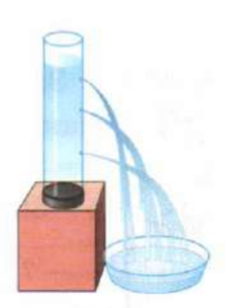


Рис. 114

Это любопытно...

Давление на дне морей и океанов. Исследование морских глубин

Глубина океанов достигает нескольких километров. Поэтому на дне океана огромное давление. Так, например, на глубине 10 км (а есть и бо́льшие глубины) давление составляет около 100 000 000 Па.

Рис. 115. Давление на дне морей и океанов

Несмотря на это, вследствие малой сжимаемости воды, плотность её на дне океанов лишь немного больше, чем вблизи поверхности.

Как показывают специальные исследования, и на таких больших океанских глубинах живут рыбы и некоторые другие живые существа. Организм этих рыб приспособлен к существованию в условиях большого давления. Их тела способны выдержать давление в миллионы паскалей. Понятно, что такое же давление существует и внутри самих рыб.

Человек при специальной тренировке может без особых предохранительных средств погружаться на глубины до 80 м, давление воды на таких глубинах около 800 кПа. На бо́льших глубинах, если не принять специальных мер защиты, грудная клетка человека может не выдержать давления воды.

При ремонте подводных частей кораблей, плотин, при подъёме затонувших судов людям приходится работать под водой на разной глубине. Для этого применяют специальные *водолазные костюмы* (рис. 115). Для глубоководных погружений (до 600 м) применяют *скафандры*, состоящие из специального прорезиненного костюма, медного шлема, трубок, подводящих воздух, и воздушного насоса.

На глубину до 90 м водолазы могут опускаться под воду, беря с собой запас сжатого воздуха, накачанного в прочные стальные баллоны. Такое снаряжение называют *аквалангом* (см. рис. 115). Аквалангом пользуются и спортсмены-пловцы.

Для исследования моря на больших глубинах используют *батисферы* и *батискафы* (см. рис. 115). Батисферу опускают в море на стальном тросе со специального корабля. Батискаф не связан тросом с кораблём, он имеет собственный двигатель и может передвигаться на большой глубине в любом направлении.

§ 41 СООБЩАЮЩИЕСЯ СОСУДЫ

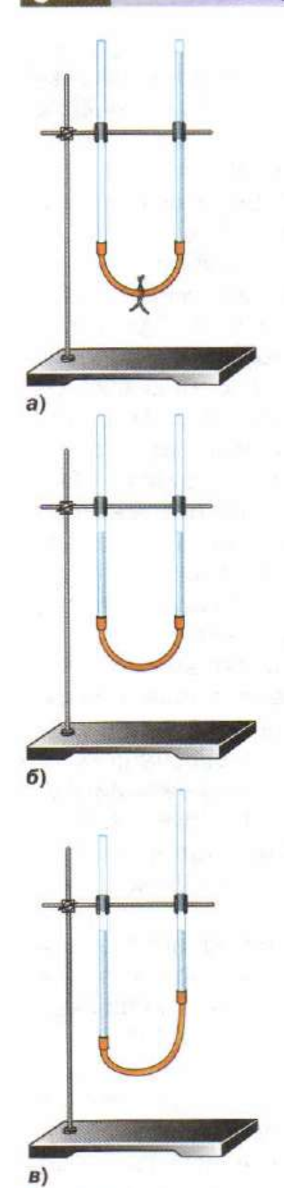


Рис. 116. Установление уровня жидкости в сообщающихся сосудах

На рисунке 116 изображены два сосуда, соединённые между собой резиновой трубкой. Такие сосуды называют *сообщающимися*. Лейка, чайник, кофейник — примеры сообщающихся сосудов (рис. 117). Из опыта мы знаем, что вода, налитая, например, в лейку, стоит всегда в резервуаре лейки и в боковой трубке на одном уровне.

С сообщающимися сосудами можно проделать следующий простой опыт. В начале опыта (рис. 116, *а*) резиновую трубку в середине зажимают и в одну из трубок наливают воду. Затем зажим открывают, и вода начинает перетекать в другую трубку до тех пор, пока поверхности воды в обеих трубках не установятся на одном уровне (рис. 116, *б*). Можно закрепить одну из трубок в штативе, а другую поднимать, опускать или наклонять в стороны. И в этом случае, как только жидкость успокоится, её уровни в обеих трубках будут одинаковыми (рис. 116, *в*).

В сообщающихся сосудах любой формы и сечения поверхности однородной жидкости устанавливаются на одном уровне (при условии, что давление воздуха над жидкостью одинаково) (рис. 118).

Это можно обосновать следующим образом. Жидкость покоится, не перемещаясь из одного сосуда в другой (см. рис. 116). Значит, давления в обоих сосудах на любом уровне одинаковы. Жидкость в обоих сосудах одна и та же, т. е. имеет одинаковую плотность. Следовательно,





Рис. 117. Сообщающиеся сосуды

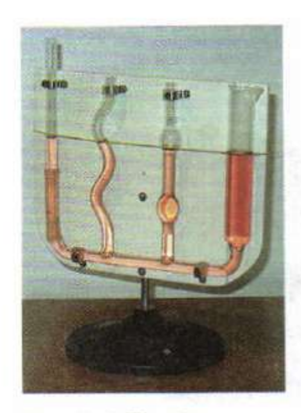


Рис. 118. Прибор, демонстрирующий установление уровня жидкости в сообщающихся сосудах

должны быть одинаковы и её высоты. Когда мы поднимаем один сосуд или доливаем в него жидкость, то давление в нём увеличивается и жидкость перемещается в другой сосуд до тех пор, пока давления не станут одинаковыми.

Примером сообщающихся сосудов могут служить шлюзы, которые воздвигают для прохода судов в обход плотин гидроэлектростанций, или каналы, соединяющие реки (рис. 122).

Если в один из сообщающихся сосудов налить жидкость одной плотности, а во второй — другой, то при равновесии уровни этих жидкостей не будут одинаковыми. И это понятно. Мы ведь знаем, что давление жидкости на дно сосуда прямо пропорционально высоте столба и плотности жидкости. А в этом случае плотности жидкостей различны, поэтому высоты столбов этих жидкостей будут различны.

При равенстве давлений высота столба жидкости с большей плотностью будет меньше высоты столба жидкости с меньшей плотностью (рис. 119).



1. Какие примеры сообщающихся сосудов вы можете привести? 2. Как располагаются поверхности однородной жидкости в сообщающихся сосудах? 3. Как располагаются поверхности разнородных жидкостей в сообщающихся сосудах?

УПРАЖНЕНИЕ 18

1. На рисунке 120 показано водомерное стекло парового котла, где *1* — паровой котёл, *2* — краны, *3* — водомерное стекло. Объясните действие этого прибора.

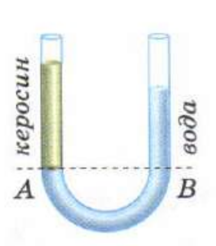


Рис. 119. Установление уровня жидкостей разной плотности

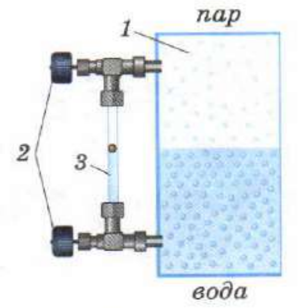


Рис. 120

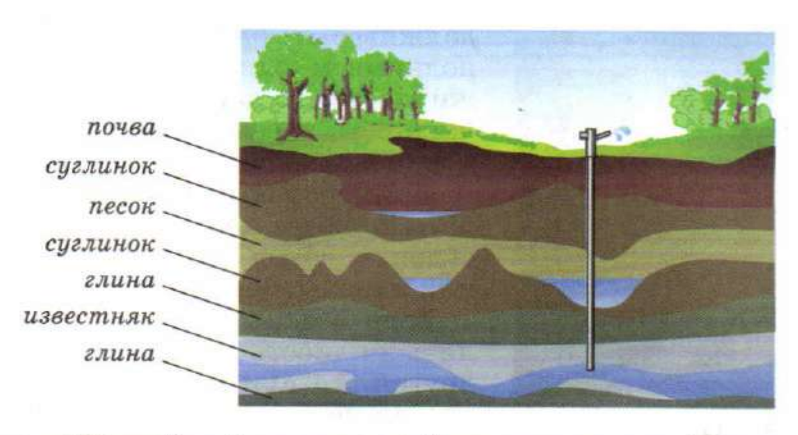
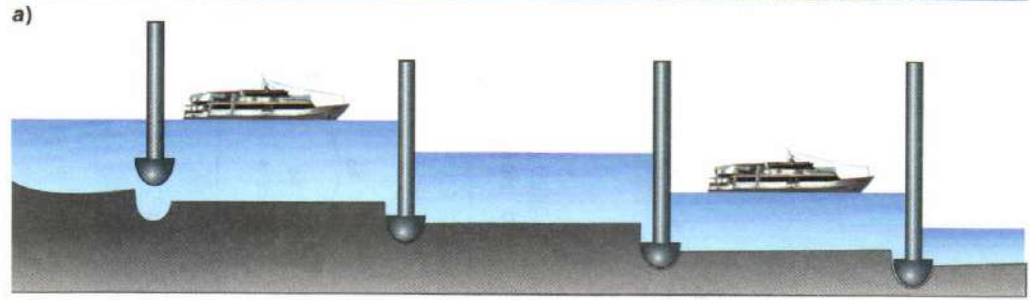


Рис. 121

2. На рисунке 121 изображён артезианский колодец в разрезе. Почва, суглинок и песок легко пропускают воду. Глина и известняк, наоборот, водонепроницаемы. Объясните действие такого колодца.



а)



б)

Рис. 122

3. Докажите, что в сообщающихся сосудах высоты столбов над уровнем раздела двух разнородных жидкостей (см. рис. 119) обратно пропорциональны плотностям жидкостей.

Указание. Используйте формулу для расчёта давления жидкости.

4. Изменится ли расположение жидкости (см. рис. 116), если правый сосуд будет шире левого; у́же левого; если сосуды будут иметь разную форму?

ЗАДАНИЕ

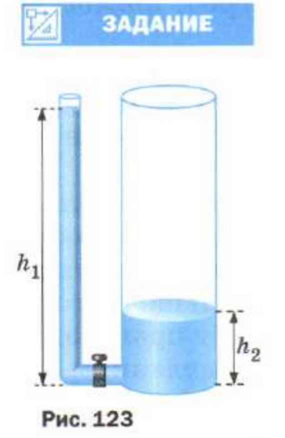


Рис. 123

1. Подумайте, как можно простым способом устроить фонтан где-нибудь в парке или во дворе. Начертите схему такого устройства и объясните принцип его действия. Изготовьте модель фонтана.
2. На рисунке 122, *а* дана схема устройства шлюза, а на рисунке 122, *б* — схема шлюзования судов. Рассмотрите рисунки и объясните принцип действия шлюзов. Какое явление используется в работе шлюзов?
3. В два сосуда налита вода (рис. 123). В каком сосуде давление воды на дно больше и на сколько, если $h_1 = 40$ см, а $h_2 = 10$ см? В каком направлении и до каких пор будет переливаться вода, если открыть кран?

§ 42 ВЕС ВОЗДУХА. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ



Рис. 124. Шар для взвешивания воздуха

На воздух, как и на всякое тело, находящееся на Земле, действует сила тяжести, и, следовательно, воздух обладает весом. Вес воздуха легко вычислить, зная его массу.

На опыте покажем, как определить массу воздуха. Для этого можно взять прочный стеклянный шар с пробкой и резиновой трубкой с зажимом (рис. 124). Выкачаем насосом из него воздух, зажмём трубку зажимом и уравновесим на весах. Затем, открыв зажим на резиновой трубке, впустим в шар воздух. Равновесие весов при этом нарушится. Для его восстановления придётся положить на другую чашку весов гири, масса которых и будет равна массе воздуха в объёме шара.

Опытами установлено, что при температуре 0 °С и нормальном атмосферном давлении масса воздуха объёмом 1 м^3 равна 1,29 кг. Вес этого воздуха легко вычислить:

$$P = gm, P = 9{,}8\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1{,}29\ \text{кг} \approx 13\ \text{Н}.$$

Воздушную оболочку, окружающую Землю, называют **атмосферой** (от греч. *атмос* — пар, воздух и *сфера* — шар).

Атмосфера, как показали наблюдения за полётом искусственных спутников Земли, простирается на высоту нескольких тысяч километров.

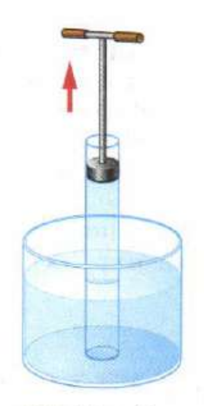


Рис. 125. Подъём воды вслед за поршнем



Рис. 126. Поступление воды внутрь сосуда из-за разности атмосферного давления и давления в закрытом сосуде

Вследствие действия силы тяжести верхние слои воздуха, подобно воде океана, сжимают нижние слои. Воздушный слой, прилегающий непосредственно к Земле, сжат больше всего и, согласно закону Паскаля, передаёт производимое на него давление по всем направлениям.

В результате этого земная поверхность и тела́, находящиеся на ней, испытывают давление всей толщи воздуха, или, как обычно говорят, испытывают **атмосферное давление**.

Существованием атмосферного давления могут быть объяснены многие явления, с которыми мы встречаемся в жизни. (Например, мыльница и крючок на присосках, пипетка, шприц.) Рассмотрим некоторые из них.

На рисунке 125 изображена стеклянная трубка, внутри которой находится поршень, плотно прилегающий к стенкам трубки. Конец трубки опущен в воду. Если поднимать поршень, то за ним будет подниматься и вода. Происходит это потому, что при подъёме поршня между ним и водой образуется безвоздушное пространство. В это пространство под давлением наружного воздуха и поднимается вслед за поршнем вода.

Это явление используется в водяных насосах и некоторых других устройствах.

На рисунке 126 показан цилиндрический сосуд. Сосуд закрыт пробкой, в которую вставлена трубка с краном. Из сосуда насосом откачивают воздух. Затем конец трубки погружают в воду. Если теперь открыть кран, то вода фонтаном брызнет внутрь сосуда. Вода поступает в сосуд потому, что атмосферное давление больше давления разреженного воздуха в сосуде.



Вопросы **1.** Как можно определить массу воздуха? **2.** Какое физическое явление мы используем, набирая лекарства пипеткой? **3.** Вследствие чего создаётся атмосферное давление? **4.** Опишите опыты, подтверждающие существование атмосферного давления.



УПРАЖНЕНИЕ 19

1. Как для объяснения явлений, изображённых на рисунках 124 и 125, используется закон Паскаля?
2. Чему равен вес воздуха объёмом 1 $м^3$?

ЗАДАНИЕ

1. Измерьте объём комнаты в вашей квартире и вычислите массу и вес воздуха в ней, считая, что его плотность равна $1{,}29\ \frac{кг}{м^3}$.
2. На дне пластиковой бутылки (рис. 127) сделайте отверстие. Зажмите отверстие пальцем и налейте в бутылку воды, закройте горлышко крышкой. Осторожно отпустите палец. Вода из бутылки выливаться

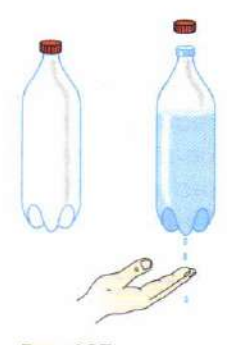


Рис. 127

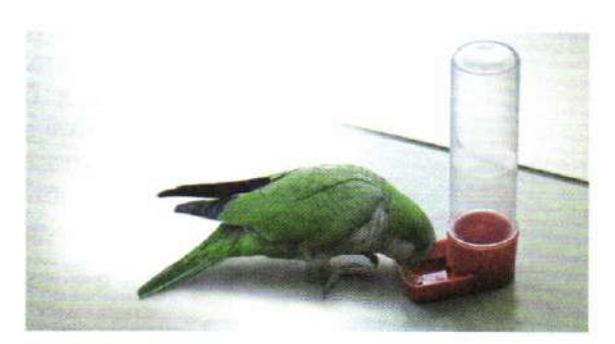
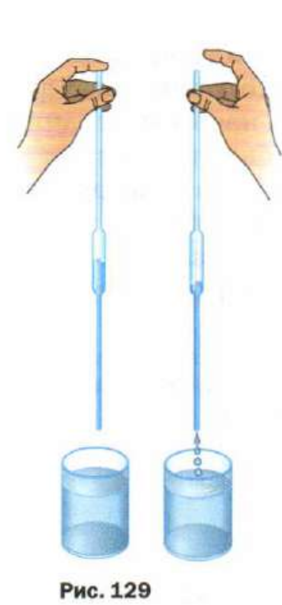


Рис. 128


Рис. 129

не будет. Теперь осторожно откройте крышку. Из отверстия польётся вода. Объясните наблюдаемое явление.

3. Напольная поилка для птиц (рис. 128) состоит из бутылки, наполненной водой и опрокинутой в корытце так, что горлышко находится немного ниже уровня воды в корытце. Почему вода не выливается из бутылки? Если уровень воды в корытце понизится и горлышко бутылки выйдет из воды, часть воды из бутылки выльется. Почему?

   Изготовьте такой прибор и проделайте с ним указанные опыты.

4. На рисунке 129 изображён прибор ливер, служащий для взятия проб различных жидкостей. Ливер опускают в жидкость, затем закрывают пальцем верхнее отверстие и вынимают из жидкости. Когда верхнее отверстие открывают, из ливера начинает вытекать жидкость. Проделайте опыт и объясните действие этого прибора.

§ 43 ПОЧЕМУ СУЩЕСТВУЕТ ВОЗДУШНАЯ ОБОЛОЧКА ЗЕМЛИ

Как и все тела, молекулы газов, входящих в состав воздушной оболочки Земли, притягиваются к Земле.

Но почему же тогда все они не упадут на поверхность Земли? Каким образом сохраняется воздушная оболочка Земли, её атмосфера? Чтобы понять это, надо учесть, что молекулы газов, составляющих атмосферу, находятся в непрерывном и беспорядочном движении. Но тогда возникает другой вопрос: почему эти молекулы не улетают в мировое пространство?

Для того чтобы совсем покинуть Землю, молекула, как и космический корабль или ракета, должна иметь очень большую скорость $\left(\text{не меньше } 11{,}2\ \frac{\text{км}}{\text{с}}\right)$. Это так называемая *вторая*


Воздушная оболочка Земли

космическая скорость. Скорость большинства молекул воздушной оболочки Земли значительно меньше этой космической скорости. Поэтому большинство их и «привязано» к Земле силой тяжести, лишь ничтожно малое число молекул улетает в космическое пространство, покидает Землю.

Беспорядочное движение молекул и действие на них силы тяжести приводят в результате к тому, что молекулы газов «парят» в пространстве около Земли, образуя воздушную оболочку, или атмосферу.

Измерения показывают, что плотность воздуха быстро уменьшается с высотой. Так, на высоте 5,5 км над Землёй плотность воздуха в 2 раза меньше его плотности у поверхности Земли, на высоте 11 км — в 4 раза меньше и т. д. Чем выше, тем воздух разрежённее. И наконец, в самых верхних слоях (сотни и тысячи километров над Землёй) атмосфера постепенно переходит в безвоздушное пространство. Чёткой границы воздушная оболочка, окружающая Землю, не имеет.

Строго говоря, вследствие действия силы тяжести плотность газа в любом закрытом сосуде неодинакова по всему объёму сосуда. Внизу сосуда плотность газа больше, чем в верхних его частях, поэтому и давление в сосуде неодинаково. На дне сосуда оно больше, чем вверху.

Однако это различие в плотности и давлении газа, содержащегося в сосуде, столь мало, что его можно во многих случаях совсем не учитывать. Но для атмосферы, простирающейся на несколько тысяч километров, различие это существенно.



1. Почему молекулы газов, входящих в состав атмосферы, не падают на Землю под действием силы тяжести? 2. Почему молекулы газов, входящих в состав атмосферы, двигаясь во все стороны, не покидают Землю? 3. Как изменяется плотность атмосферы с увеличением высоты?

УПРАЖНЕНИЕ 20

1. Предполагают, что Луна когда-то была окружена атмосферой, но постепенно потеряла её. Чем это можно объяснить?

2. Чтобы вдохнуть воздух, человек при помощи мышц расширяет грудную клетку. Почему воздух входит при этом в лёгкие? Как происходит выдох?

§ 44 ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ. ОПЫТ ТОРРИЧЕЛЛИ

Рассчитать атмосферное давление по формуле для вычисления давления столба жидкости (§ 39) нельзя. Для такого расчёта надо знать высоту атмосферы и плотность воздуха. Но определённой границы у атмосферы нет, а плотность воздуха на разной высоте различна. Однако измерить атмосферное давление можно с помощью опыта, предложенного в XVII в. итальянским учёным **Эванджелиста Торричелли**, учеником Галилея.

Опыт Торричелли состоит в следующем: стеклянную трубку длиной около 1 м, запаянную с одного конца, наполняют ртутью. Затем, плотно закрыв другой конец трубки, её переворачивают, опускают в чашку с ртутью и под ртутью открывают конец трубки (рис. 130). Часть ртути при этом выливается в чашку, а часть её остаётся в трубке. Высота столба ртути, оставшейся в трубке, равна примерно 760 мм. Над ртутью в трубке воздуха нет, там безвоздушное пространство.



ЭВАНДЖЕЛИСТА ТОРРИЧЕЛЛИ

(1608—1647)

Измерил атмосферное давление, разработал ряд вопросов в физике и математике

Торричелли, предложивший описанный выше опыт, дал и его объяснение. Атмосфера давит на поверхность ртути в чашке. Ртуть находится в равновесии. Значит, давление в трубке на уровне aa_1 (см. рис. 130) равно атмосферному давлению. Если бы оно было больше атмосферного,

то ртуть выливалась бы из трубки в чашку, а если меньше, то поднималась бы в трубке вверх.



Рис. 130. Опыт Торричелли

Давление в трубке на уровне aa_1 создаётся весом столба ртути в трубке, так как в верхней части трубки над ртутью воздуха нет. Отсюда следует, что **атмосферное давление равно давлению столба ртути в трубке**, т. е.

$$p_{атм} = p_{ртути}.$$

Измерив высоту столба ртути, можно рассчитать давление, которое производит ртуть. Оно и будет равно атмосферному давлению. Если атмосферное давление уменьшится, то столб ртути в трубке Торричелли понизится.

Чем больше атмосферное давление, тем выше столб ртути в опыте Торричелли. Поэтому на практике атмосферное давление можно измерять высотой ртутного столба (в миллиметрах или сантиметрах). Если, например, атмосферное давление равно 780 мм рт. ст., то это значит, что воздух производит такое же давление, какое производит вертикальный столб ртути высотой 780 мм.

Следовательно, в этом случае за единицу атмосферного давления принимают 1 миллиметр ртутного столба (1 мм рт. ст.). Найдём соотношение между этой единицей и известной нам единицей давления — *паскалем* (Па).

Давление столба ртути $\rho_{ртути}$ высотой 1 мм равно

$$p = g\rho h,$$

$$p = 9{,}8\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 13\,600\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0{,}001\ \text{м} \approx 133{,}3\ \text{Па}.$$

Итак, **1 мм рт. ст. = 133,3 Па.**

В настоящее время атмосферное давление принято измерять и в гектопаскалях. Например, в сводках погоды может быть объявлено, что давление равно 1013 гПа, это то же самое, что 760 мм рт. ст.

Наблюдая ежедневно за высотой ртутного столба в трубке, Торричелли обнаружил, что эта высота меняется, т. е. атмосферное давле-

ние непостоянно, оно может увеличиваться и уменьшаться. Торричелли заметил также, что изменения атмосферного давления связаны с изменением погоды.

Если к трубке с ртутью, использовавшейся в опыте Торричелли, прикрепить вертикальную шкалу, то получится простейший прибор — **ртутный барометр** (от греч. *барос* — тяжесть, *метрео* — измеряю). Он служит для измерения атмосферного давления.



Вопросы

1. Почему нельзя рассчитывать давление воздуха так же, как рассчитывают давление жидкости на дно или стенки сосуда? 2. Объясните, как с помощью трубки Торричелли можно измерить атмосферное давление. 3. Что означает запись: «Атмосферное давление равно 780 мм рт. ст.»? 4. Скольким гектопаскалям равно давление ртутного столба высотой 1 мм?

УПРАЖНЕНИЕ 21

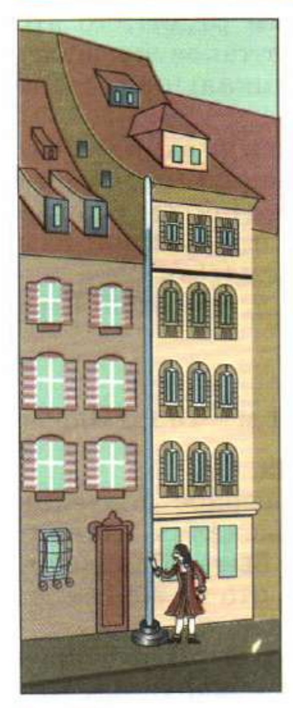


Рис. 131

1. На рисунке 131 изображён водяной барометр, созданный Паскалем в 1646 г. Какой высоты был столб воды в этом барометре при атмосферном давлении, равном 760 мм рт. ст.?
2. В 1654 г. Отто Герике в г. Магдебурге, чтобы доказать существование атмосферного давления, провёл такой опыт. Он выкачал воздух из полости между двумя металлическими полушариями, сложенными вместе. Давление атмосферы так сильно прижало полушария друг к другу, что их не могли разорвать восемь пар лошадей (рис. 132). Вычислите силу, сжимающую полушария, если считать, что она действует на площадь, равную 2800 $см^2$, а атмосферное давление равно 760 мм рт. ст.
3. Из трубки длиной 1 м, запаянной с одного конца и с краном на другом конце, выкачали воздух. Поместив конец с краном в ртуть, открыли кран. Заполнит ли ртуть всю трубку? Если вместо ртути взять воду, заполнит ли она всю трубку?
4. Выразите в гектопаскалях давление, равное: 740 мм рт. ст.; 780 мм рт. ст.
5. Рассмотрите рисунок 130. Ответьте на вопросы.
   а) Почему для уравновешивания давления атмосферы, высота которой достигает десятков тысяч километров, достаточно столба ртути высотой около 760 мм?





Рис. 132

б) Сила атмосферного давления действует на ртуть, находящуюся в чашке, сверху вниз. Почему же атмосферное давление удерживает столб ртути в трубке?

в) Как повлияло бы наличие воздуха в трубке над ртутью на показания ртутного барометра?

г) Изменится ли показание барометра, если трубку наклонить; опустить глубже в чашку со ртутью?

ЗАДАНИЕ

1. Погрузите стакан в воду, переверните его под водой вверх дном и затем медленно вытаскивайте из воды. Почему, пока края стакана находятся под водой, вода остаётся в стакане (не выливается)?



Рис. 133

2. Налейте в стакан воды, закройте листом бумаги и, поддерживая лист рукой, переверните стакан вверх дном. Если теперь отнять руку от бумаги (рис. 133), то вода из стакана не выльется. Бумага остаётся как бы приклеенной к краю стакана. Почему? Ответ обоснуйте.

3. Положите на стол длинную деревянную линейку так, чтобы её конец выходил за край стола. Сверху застелите стол газетой, разгладьте газету руками, чтобы она плотно лежала на столе и линейке. Резко ударьте по свободному концу линейки — газета не поднимется, а прорвётся. Объясните наблюдаемые явления.

Это любопытно...

История открытия атмосферного давления

Изучение атмосферного давления имеет большую и поучительную историю. Как и многие другие научные открытия, оно тесно связано с практическими потребностями людей.

Устройство насоса было известно ещё в глубокой древности. Однако и древнегреческий учёный Аристотель, и его последователи объясняли движение воды за поршнем в трубе насоса тем, что «природа боится пустоты». Истинная же причина этого явления — давление атмосферы — им была неизвестна.

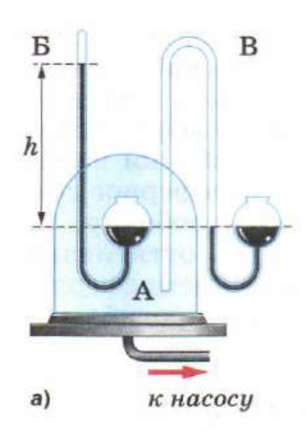
В конце первой половины XVII в. во Флоренции — богатом торговом городе Италии — строили так называемые всасывающие насосы. Он состоит из вертикально расположенной трубы, внутри которой имеется поршень. При подъёме поршня вверх за ним поднимается вода (см. рис. 124). При помощи этих насосов хотели поднимать воду на большую высоту, но насосы «отказывались» это делать.

Обратились за советом к Галилею. Галилей исследовал насосы и нашёл, что они исправны. Занявшись этим вопросом, он указал, что насосы не могут поднять воду выше, чем на 18 итальянских локтей ($\approx$ 10 м). Но разрешить вопрос до конца он не успел. После смерти Галилея эти научные исследования продолжил его ученик — Торричелли. Торричелли занялся и изучением явления поднятия воды за поршнем в трубе насоса. Для опыта он предложил использовать длинную стеклянную трубку, а вместо воды взять ртуть. Впервые такой опыт (§ 44) был проделан его учеником Вивиани в 1643 г.

Раздумывая над этим опытом, Торричелли пришёл к заключению, что истинной причиной поднятия в трубке ртути является давление воздуха, а не «боязнь пустоты». Это давление производит воздух своим весом. (А что воздух имеет вес — было уже доказано Галилеем.)

Об опытах Торричелли узнал французский учёный Паскаль. Он повторил опыт Торричелли с ртутью и водой. Однако Паскаль считал, что для окончательного доказательства факта существования атмосферного давления необходимо проделать опыт Торричелли один раз у подножия какой-нибудь горы, а другой раз на вершине её и измерить в обоих случаях высоту ртутного столба в трубке. Если бы на вершине горы столб ртути оказался ниже, чем у подножия её, то отсюда следовало бы заключить, что ртуть в трубке действительно поддерживается атмосферным давлением.

«Легко понять, — говорил Паскаль, — что у подножия горы воздух оказывает большее давление, чем на вершине её, меж тем как нет никаких оснований предполагать, чтобы природа испытывала бóльшую боязнь пустоты внизу, чем вверху».



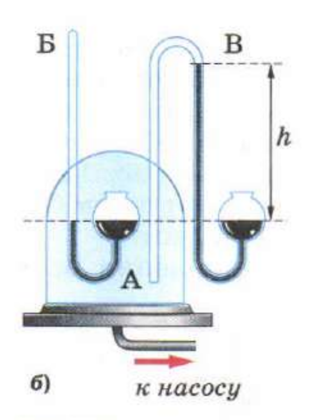


Рис. 134. Доказательство «пустоты в пустоте»: *а* — схема установки; *б* — подъём ртути под действием атмосферного давления

Такой опыт был проведён, он показал, что давление воздуха на вершине той горы, где проводились опыты, было почти на 100 мм рт. ст. меньше, чем у подножия горы. Но Паскаль этим опытом не ограничился. Чтобы ещё раз доказать, что ртутный столб в опыте Торричелли удерживается атмосферным давлением, Паскаль поставил другой опыт, который он образно назвал доказательством «пустоты в пустоте».

Опыт Паскаля можно осуществить с помощью прибора, изображённого на рисунке 134, *а*, где А — прочный полый стеклянный сосуд, в который пропущены и впаяны две трубки: одна — от барометра Б, другая (трубка с открытыми концами) — от барометра В.

Прибор устанавливают на тарелку воздушного насоса. В начале опыта давление в сосуде А равно атмосферному, оно измеряется разностью высот h столбов ртути в барометре Б. В барометре же В ртуть стоит на одном уровне. Затем из сосуда А воздух выкачивается насосом. По мере удаления воздуха уровень ртути в левом колене барометра Б понижается, а в левом колене барометра В повышается. Когда воздух будет полностью удалён из сосуда А, уровень ртути в узкой трубке барометра Б упадёт и сравняется с уровнем ртути в его широком колене. В узкой же трубке барометра В ртуть под действием атмосферного давления поднимается на высоту h (рис. 134, *б*). Этим опытом Паскаль ещё раз доказал существование атмосферного давления.

Опыты Паскаля окончательно опровергли теорию Аристотеля о «боязни пустоты» и подтвердили существование атмосферного давления.

§ 45 БАРОМЕТР-АНЕРОИД

В практике для измерения атмосферного давления используют металлический барометр, называемый **анероидом** (в переводе с греческого — «безжидкостный». Так барометр называют потому, что он не содержит ртути).

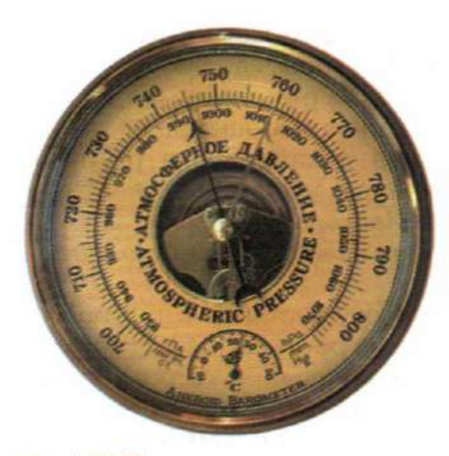


Рис. 135. Барометр-анероид

Внешний вид анероида изображён на рисунке 135. Главная часть его — металлическая коробочка *1* с волнистой (гофрированной) поверхностью (рис. 136). Из этой коробочки выкачан воздух, а чтобы атмосферное давление не раздавило коробочку, её крышку пружиной *2* оттягивают вверх. При увеличении атмосферного давления крышка прогибается вниз и натягивает пружину. При уменьшении давления пружина выпрямляет крышку. К пружине с помощью передаточного механизма *3* прикреплена стрелка-указатель *4*, которая передвигается вправо или влево при изменении давления. Под стрелкой укреплена шкала, деления которой нанесены по показаниям ртутного барометра. Так, число 750, против которого стоит стрелка анероида (см. рис. 135), показывает, что в данный момент в ртутном барометре высота ртутного столба 750 мм.

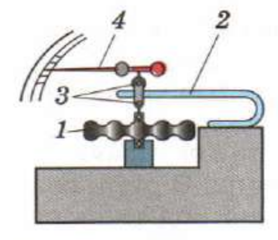


Рис. 136. Устройство барометра-анероида

Следовательно, атмосферное давление равно 750 мм рт. ст., или ≈ 1000 гПа.

Знание атмосферного давления весьма важно для предсказывания погоды на ближайшие дни, так как изменение атмосферного давления связано с изменением погоды. Барометр — необходимый прибор при метеорологических наблюдениях.



1. Как устроен барометр-анероид? **2.** Как градуируют шкалу барометра-анероида? **3.** Для чего необходимо систематически и в разных местах земного шара измерять атмосферное давление? Какое значение это имеет в метеорологии?

УПРАЖНЕНИЕ 22

Рассмотрите рисунок 135 и ответьте на вопросы.

а) Как называется изображённый на рисунке прибор?

б) В каких единицах проградуированы его внешняя и внутренняя шкалы?

в) Вычислите цену деления каждой шкалы.

г) Запишите показания прибора по каждой шкале.

§ 46 АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ НА РАЗЛИЧНЫХ ВЫСОТАХ

В жидкости давление, как мы знаем (§ 38), зависит от плотности жидкости и высоты её столба. Вследствие малой сжимаемости плотность жидкости на различных глубинах почти одинакова. Поэтому, вычисляя давление жидкости, мы считаем её плотность постоянной и учитываем только изменение высоты.

Сложнее обстоит дело с газами. Газы хорошо сжимаемы. А чем сильнее газ сжат, тем больше его плотность и тем большее давление он производит на окружающие тела. Ведь давление газа создаётся ударами его молекул о поверхность тела.

684 мм

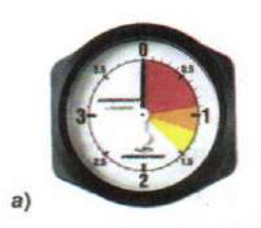
760 мм

Уменьшение давления с высотой

Слои воздуха у поверхности Земли сжаты всеми слоями воздуха, находящимися над ними. Но чем выше от поверхности слой воздуха, тем слабее он сжат, тем меньше его плотность. Следовательно, тем меньшее давление он производит. Если, например, воздушный шар поднимается над поверхностью Земли, то давление воздуха на шар становится меньше. Это происходит не только потому, что высота столба воздуха над ним уменьшается, но ещё и потому, что уменьшается плотность воздуха. Вверху она меньше, чем внизу. Поэтому зависимость давления от высоты для воздуха сложнее, чем аналогичная зависимость для жидкости.

Наблюдения показывают, что атмосферное давление в местностях, лежащих на уровне моря, в среднем равно 760 мм рт. ст.

Атмосферное давление, равное давлению столба ртути высотой 760 мм при температуре 0 °С, называется нормальным атмосферным давлением.



а)

б)

Рис. 137. Высотомеры:
а — механический;
б — электронный

Нормальное атмосферное давление равно 101 300 Па = 1013 гПа.

Чем больше высота над уровнем моря, тем давление воздуха в атмосфере меньше.

При небольших подъёмах в среднем на каждые 12 м подъёма давление уменьшается на 1 мм рт. ст. (или на 1,33 гПа).

Зная зависимость давления от высоты, можно по изменению показаний барометра определить высоту над уровнем моря. Анероиды, имеющие шкалу, по которой непосредственно можно отсчитать высоту, называют **высотомерами** (рис. 137). Их применяют в авиации и при подъёмах на горы.



1. Как объяснить, что атмосферное давление уменьшается по мере увеличения высоты подъёма над уровнем Земли? 2. Какое атмосферное давление называют нормальным? 3. Как называют прибор для измерения высоты по атмосферному давлению? Что он собой представляет? Отличается ли его устройство от устройства барометра?

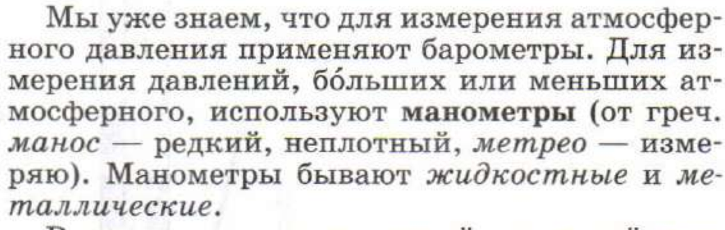
УПРАЖНЕНИЕ 23

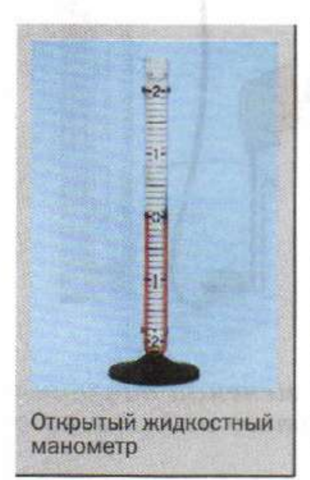
1. Почему воздушный шарик, наполненный водородом, при подъёме над Землёй увеличивается в объёме?
2. У подножия горы барометр показывает 760 мм рт. ст., а на вершине 722 мм рт. ст. Какова примерно высота горы?
3. Выразите нормальное атмосферное давление в гектопаскалях (гПа).
4. При массе 60 кг и росте 1,6 м площадь поверхности тела человека равна примерно 1,6 м^2. Рассчитайте силу, с которой атмосфера давит на человека (при нормальном атмосферном давлении).

ЗАДАНИЕ

- С помощью барометра-анероида измерьте атмосферное давление на первом и последнем этажах здания школы. Определите по полученным данным расстояние между этажами.

§ 47 МАНОМЕТРЫ





Открытый жидкостный манометр

Мы уже знаем, что для измерения атмосферного давления применяют барометры. Для измерения давлений, бо́льших или меньших атмосферного, используют **манометры** (от греч. *манос* — редкий, неплотный, *метрео* — измеряю). Манометры бывают *жидкостные* и *металлические*.

Рассмотрим сначала устройство и действие *открытого жидкостного манометра*. Он состоит из двухколенной стеклянной трубки, в которую наливают какую-нибудь жидкость. Жидкость устанавливается в обоих коленах на одном уровне, так как на её поверхность в коленах сосуда действует только атмосферное давление.

Чтобы понять, как работает такой манометр, его можно соединить резиновой трубкой с круглой плоской коробкой, одна сторона которой затянута резиновой плёнкой (рис. 138). Если слегка надавить пальцем на плёнку, то уровень жидкости в колене манометра, соединённом с коробкой, понизится, в другом колене повысится. Чем это объясняется?

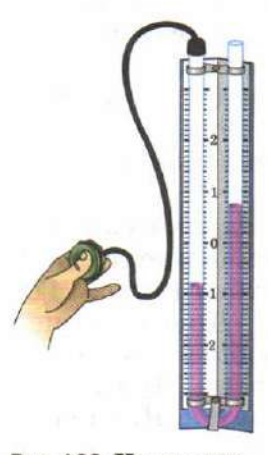


Рис. 138. Изменение уровня жидкости в коленах манометра

При надавливании на плёнку увеличивается давление воздуха в коробке. По закону Паскаля это увеличение давления передаётся и жидкости в том колене манометра, которое присоединено к коробке. Поэтому давление на жидкость в этом колене будет больше, чем в другом, где на жидкость действует атмосферное давление. Под действием силы этого избыточного давления жидкость начнёт перемещаться. В колене со сжатым воздухом жидкость опустится, в другом — поднимется. Жидкость придёт в равновесие (остановится), когда избыточное давление сжатого воздуха уравновесится давлением, которое производит избыточный столб жидкости в другом колене манометра.

Чем сильнее давить на плёнку, тем выше избыточный столб жидкости, тем больше его дав-

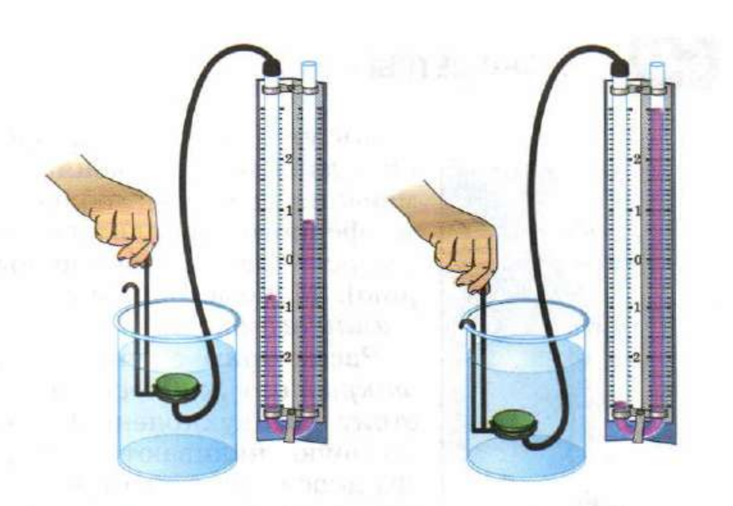


Рис. 139. Измерение давления жидкостным манометром

ление. Следовательно, *об изменении давления можно судить по высоте этого избыточного столба*.

На рисунке 139 показано, как таким манометром можно измерять давление внутри жидкости. *Чем глубже погружают в жидкость коробочку, тем больше становится разность высот столбов жидкости в коленах манометра*, тем, следовательно, и *большее давление производит жидкость*.

Если установить коробочку прибора на какой-нибудь глубине внутри жидкости и поворачивать её плёнкой вверх, вбок и вниз, то показания манометра при этом не будут меняться. Так и должно быть, ведь *на одном и том же уровне внутри жидкости давление по всем направлениям одинаково*.



Рис. 140. Металлический манометр

На рисунке 140 изображён **металлический манометр.** Основная часть такого манометра — согнутая в дугу металлическая трубка *1* (рис. 141), один конец которой закрыт. Другой конец трубки с помощью крана *4* сообщается с сосудом, в котором измеряют давление. При увеличении давления трубка разгибается. Движение закрытого конца её при помощи рычага *5* и зубчатки *3* передаётся стрелке *2*, движущейся около шкалы прибора. При уменьшении давле-

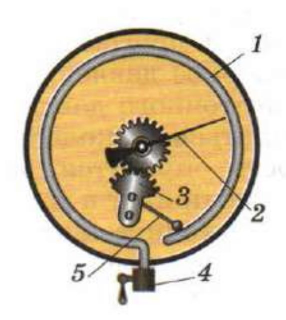


Рис. 141. Устройство металлического манометра

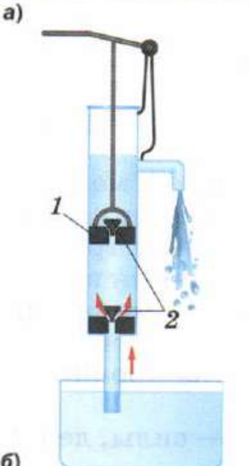
ния трубка благодаря своей упругости возвращается в прежнее положение, а стрелка — к нулевому делению шкалы.

? Вопросы 1. Как называют приборы для измерения давлений, бо́льших или меньших атмосферного? 2. Почему в открытом манометре уровни однородной жидкости в обоих коленах одинаковые? 3. Что доказывает опыт, изображённый на рисунке 127? 4. Как показать, что давление в жидкости на одной и той же глубине одинаково по всем направлениям? 5. Как устроен и действует металлический манометр?

§ 48 ПОРШНЕВОЙ ЖИДКОСТНЫЙ НАСОС



а)



б)

Рис. 142. Колонка с поршневым насосом: *а* — внешний вид; *б* — устройство

В опыте, рассмотренном нами ранее, было установлено, что вода в стеклянной трубке под действием атмосферного давления поднималась за поршнем. На этом основано действие *поршневых насосов*.

Насос схематически изображён на рисунке 142, *б*. Он состоит из цилиндра, внутри которого ходит вверх и вниз плотно прилегающий к стенкам поршень *1*. В нижней части цилиндра и в самом поршне установлены клапаны *2*, открывающиеся только вверх. При движении поршня вверх вода под действием атмосферного давления входит в трубу, поднимает нижний клапан и движется за поршнем.

При движении поршня вниз вода, находящаяся под поршнем, давит на нижний клапан, и он закрывается. Одновременно под давлением воды открывается клапан внутри поршня, и вода переходит в пространство над поршнем. При последующем движении поршня вверх вместе с ним поднимается и находящаяся над ним вода, которая и выливается в отводящую трубу. Одновременно за поршнем поднимается новая порция воды, которая при последующем опускании поршня окажется над ним, и т. д.

? Вопросы 1. Какое явление используют в устройстве поршневого водяного насоса? 2. Как устроен и действует такой насос?

УПРАЖНЕНИЕ 24

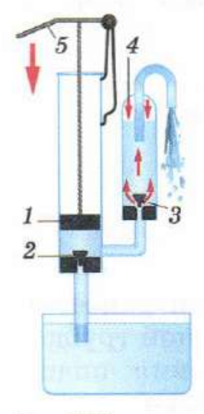


Рис. 143

1. На какую предельную высоту вручную можно поднять воду поршневым насосом (см. рис. 142) при нормальном атмосферном давлении?
2. На какую наибольшую высоту вручную можно поднять спирт, ртуть поршневым насосом (см. рис. 142) при нормальном атмосферном давлении?
3. Объясните работу поршневого насоса с воздушной камерой (рис. 143), где *1* — поршень; *2* — всасывающий клапан; *3* — нагнетательный клапан; *4* — воздушная камера; *5* — рукоятка.

   Какую роль играет в этом насосе воздушная камера? Можно ли поднять этим насосом воду с глубины, большей 10,3 м?

§ 49 ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРЕСС

Закон Паскаля позволяет объяснить действие **гидравлической машины** (от греч. *гидравликос* — водяной). Это машины, действие которых основано на законах движения и равновесия жидкостей.

Основной частью гидравлической машины служат два цилиндра разного диаметра, снабжённые поршнями и соединённые трубкой (рис. 144). Пространство под поршнями и трубку заполняют жидкостью (обычно минеральным маслом). Высоты столбов жидкости в обоих цилиндрах одинаковы, пока на поршни не действуют силы.

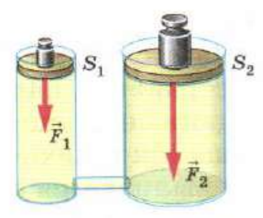


Рис. 144. Принцип действия гидравлической машины

Допустим теперь, что F_1 и F_2 — силы, действующие со стороны поршней на жидкость, S_1 и S_2 — площади поршней. Давление под первым (малым) поршнем равно $p_1 = \frac{F_1}{S_1}$, а под вторым

(большим) $p_2 = \frac{F_2}{S_2}$. По закону Паскаля давление покоящейся жидкостью во все стороны передаётся без изменений, т. е.

$$p_1 = p_2 \text{ или } \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2},$$

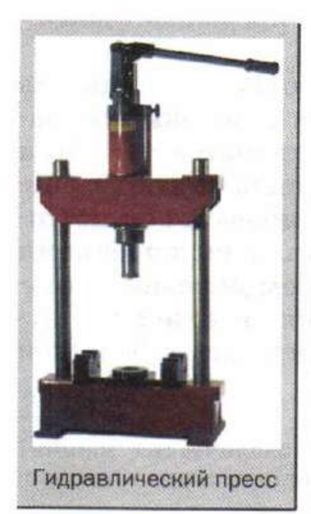
откуда

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}.$$

Следовательно, *сила F_2 во столько раз больше силы F_1, во сколько раз площадь большого поршня больше площади малого.* Например, если площадь большого поршня 500 см^2, а малого 5 см^2 и на малый поршень действует сила 100 Н, то на большой поршень будет действовать сила, в 100 раз бо́льшая, т. е. 10 000 Н.

Таким образом, с помощью гидравлической машины можно малой силой уравновесить большую силу.

Отношение $\frac{F_2}{F_1}$ показывает выигрыш в силе. Например, в приведённом примере выигрыш в силе равен $\frac{10\,000\text{ Н}}{100\text{ Н}} = 100$.


Гидравлический пресс

Гидравлическую машину, служащую для прессования (сдавливания), называют **гидравлическим прессом.**

Гидравлические прессы применяются там, где требуется большая сила. Например, для выжимания масла из семян на маслобойных заводах, для прессования фанеры, картона, сена. На металлургических заводах гидравлические прессы используют при изготовлении стальных валов машин, железнодорожных колёс и многих других изделий. Современные гидравлические прессы могут развивать силу

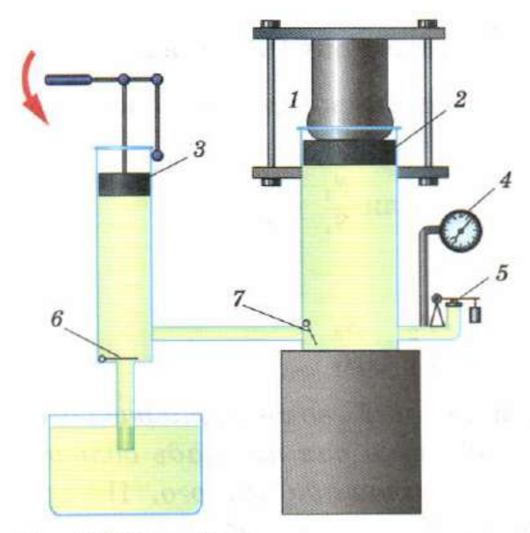


Рис. 145. Устройство гидравлического пресса

в десятки и сотни миллионов ньютонов.

Устройство гидравлического пресса схематически показано на рисунке 145. Прессуемое тело *1* кладут на платформу, соединённую с большим поршнем *2*. При помощи малого поршня *3* создаётся большое давление на жидкость. Это давление без изменения передаётся в каждую точку жидкости, заполняющей цилиндры (закон Паскаля). Поэтому такое же давление действует и на поршень *2*. Но так как площадь поршня *2* больше площади поршня *3*, то и сила, действующая на него, будет больше силы, действующей на поршень *3*. Под действием этой силы поршень *2* будет подниматься. При подъёме поршня *2* тело упирается в неподвижную верхнюю платформу и сжимается. При помощи манометра *4* измеряют давление жидкости, предохранительный клапан *5* автоматически открывается, когда давление превышает допустимое значение.

Из малого цилиндра в большой жидкость перекачивается повторными движениями малого поршня *3*. Это осуществляется так. При подъёме малого поршня клапан *6* открывается, и в пространство, находящееся под поршнем, засасывается жидкость. При опускании малого поршня под действием давления жидкости клапан *6* закрывается, а клапан *7* открывается, и жидкость переходит в большой сосуд.

? Вопросы

1. Какой закон используют в устройстве гидравлических машин?
2. Какой выигрыш в силе даёт гидравлический пресс (при отсутствии трения)?

УПРАЖНЕНИЕ 25

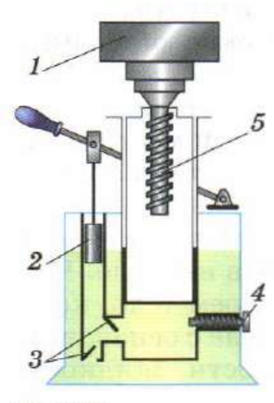


Рис. 146

1. На рисунке 146 изображена упрощённая схема гидравлического подъёмника (гидравлического домкрата), где *1* — поднимаемое тело, *2* — малый поршень, *3* — клапаны, *4* — клапан для опускания груза, *5* — большой поршень. Груз какой массы можно поднять такой машиной, если известно, что площадь малого поршня 1,2 см^2, большого — 1440 см^2, а сила, действующая на малый поршень, может достигать 1000 Н? Трение не учитывать.

2. В гидравлическом прессе площадь малого поршня 5 см^2, площадь большого — 500 см^2. Сила, действующая на малый поршень, 400 Н, на большой — 36 кН. Какой выигрыш в силе даёт этот пресс? Почему пресс не даёт максимального (наибольшего) выигрыша в силе? Какой выигрыш в силе должен был бы давать этот пресс при отсутствии силы трения между поршнем и стенками пресса?

3. Можно ли создать машину, подобную гидравлической, используя вместо воды воздух? Ответ обоснуйте.

ЗАДАНИЕ

1. На рисунке 147 изображена схема автомобильного гидравлического тормоза, где *1* — тормозная педаль, *2* — цилиндр с поршнем, *3* — тормозной цилиндр, *4* — тормозные колодки, *5* — пружина, *6* — тормозной барабан. Цилиндры и трубки заполнены специальной жидкостью. Расскажите по этой схеме, как действует тормоз.

2. Используя Интернет, подготовьте презентацию на тему «Гидравлический домкрат в быту».

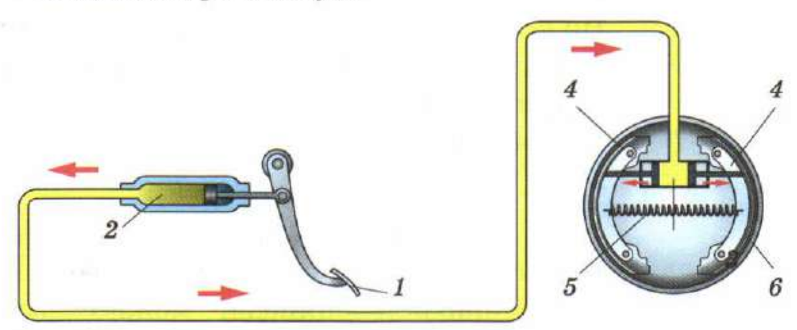


Рис. 147

§ 50 ДЕЙСТВИЕ ЖИДКОСТИ И ГАЗА НА ПОГРУЖЁННОЕ В НИХ ТЕЛО

Под водой мы можем легко поднять камень, который с трудом поднимаем в воздухе. Если погрузить пробку под воду и выпустить её из рук, то она всплывёт. Как можно объяснить эти явления?

Мы знаем (§ 39), что жидкость давит на дно и стенки сосуда, а если внутрь её поместить какое-нибудь твёрдое тело, то оно также будет подвергаться давлению.

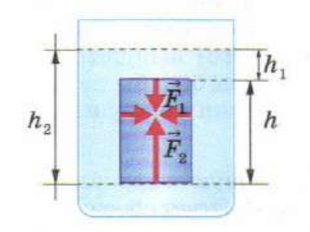
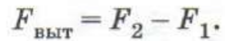


Рис. 148. Силы, действующие на погружённое в жидкость тело

Рассмотрим силы, которые действуют со стороны жидкости на погруженное в неё тело. Чтобы легче было рассуждать, выберем тело, которое имеет форму параллелепипеда с основаниями, параллельными поверхности жидкости (рис. 148). Силы, действующие на боковые грани тела, попарно равны и уравновешивают друг друга. Под действием этих сил тело только сжимается. А вот силы, действующие на верхнюю и нижнюю грани тела, неодинаковы. На верхнюю грань давит сверху с силой F_1 столб жидкости высотой h_1. На уровне нижней грани тела давление производит столб жидкости высотой h_2. Это давление, как мы знаем (§ 38), передаётся внутри жидкости во все стороны. Следовательно, на нижнюю грань тела снизу вверх с силой F_2 давит столб жидкости высотой h_2. Но h_2 больше h_1, следовательно, и модуль силы F_2 больше модуля силы F_1. Поэтому тело выталкивается из жидкости с силой $F_{выт}$, равной разности сил $F_2 - F_1$, т. е.



$$F_{выт} = F_2 - F_1.$$

Рассчитаем эту выталкивающую силу. Силы F_1 и F_2, действующие на верхнюю и нижнюю грани параллелепипеда, можно вычислить, зная их площади (S_1 и S_2) и давление жидкости

на уровнях этих граней (p_1 и p_2). Отсюда получаем

$F_1 = p_1S_1$, а $F_2 = p_2S_2$, так как $p_1 = \rho_ж gh_1$, $p_2 = \rho_ж gh_2$, а $S_1 = S_2 = S$, где S — площадь основания параллелепипеда.

Тогда $F_{выт} = F_2 - F_1 = \rho_ж gh_2S - \rho_ж gh_1S = \rho_ж gS(h_2 - h_1) = \rho_ж gSh$, где h — высота параллелепипеда.

Но $Sh = V$, где V — объём параллелепипеда, а $\rho_ж V = m_ж$, где m — масса жидкости в объёме параллелепипеда. Следовательно,

$$F_{выт} = gm_ж = P_ж,$$

т. е. выталкивающая сила равна *весу жидкости в объёме погружённого в неё тела*.

Существование силы, выталкивающей тело из жидкости, легко обнаружить на опыте.

На рисунке 149, *а* изображено тело, подвешенное к пружине со стрелкой-указателем на конце. Растяжение пружины отмечает на штативе стрелка. При опускании тела в воду пружина сокращается (рис. 149, *б*). Такое же сокращение пружины получится, если действовать на тело снизу вверх с некоторой силой, например нажать рукой.

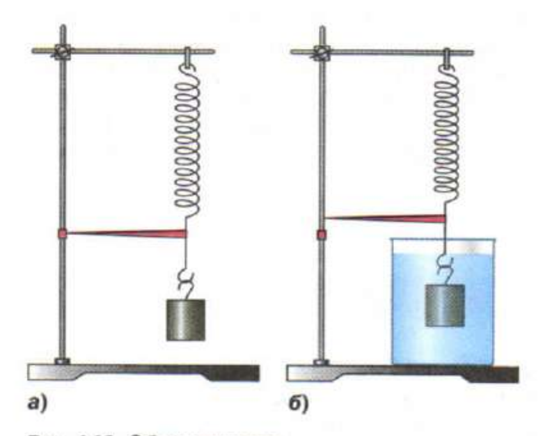


Рис. 149. Обнаружение силы, выталкивающей тело из жидкости

Следовательно, опыт подтверждает, что *на тело, находящееся в жидкости, действует сила, выталкивающая это тело из жидкости*.

К газам, как мы знаем, также применим закон Паскаля. Поэтому и *на тела, находящиеся в газе, действует сила, выталкивающая их из газа*. Под действием этой силы воздушные шары поднимаются вверх. Существование силы, выталкивающей тело из газа, можно также наблюдать на опыте.



Рис. 150. Обнаружение силы, выталкивающей тело из газа

К чашке весов с укороченным креплением подвешивают стеклянный шар или большую колбу, закрытую пробкой. Весы уравновешивают. Затем под колбу (или шар) ставят широкий сосуд так, чтобы он окружал всю колбу. Сосуд наполняют углекислым газом, плотность которого больше плотности воздуха. При этом равновесие весов нарушается. Чашка с подвешенной колбой поднимается вверх (рис. 150). На колбу, погружённую в углекислый газ, действует бóльшая выталкивающая сила по сравнению с той, которая действует на неё в воздухе.

Сила, выталкивающая тело из жидкости или газа, направлена противоположно силе тяжести, приложенной к этому телу.

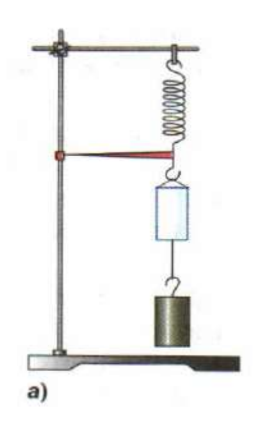
Поэтому если какое-либо тело взвесить в жидкости или газе, то его вес окажется меньше веса в вакууме (пустоте). Именно этим объясняется, что в воде мы иногда легко поднимаем тела, которые с трудом удерживаем в воздухе.

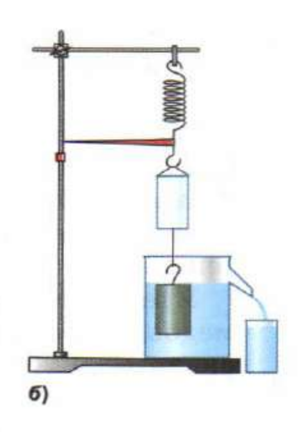
? Вопросы

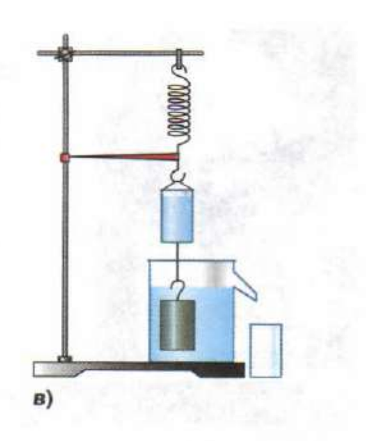
1. Какие известные вам из жизни явления указывают на существование выталкивающей силы? 2. Как доказать, основываясь на законе Паскаля, существование выталкивающей силы, действующей на тело, погруженное в жидкость? 3. Как показать на опыте, что на тело, находящееся в жидкости, действует выталкивающая сила? 4. Как на опыте показать, что на тело, находящееся в газе, действует выталкивающая сила?

§ 51 АРХИМЕДОВА СИЛА

Силу, с которой тело, находящееся в жидкости, выталкивается ею, можно рассчитать, как это сделано в § 50. А можно определить её значение на опыте, используя для этого прибор, изображённый на рисунке 151.







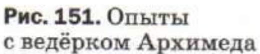
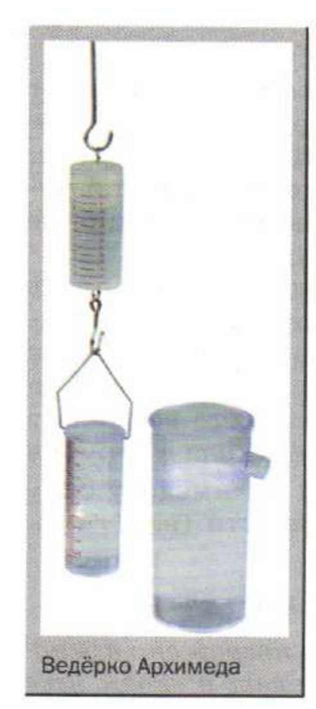


Рис. 151. Опыты с ведёрком Архимеда

К пружине подвешивают небольшое ведёрко и тело цилиндрической формы. Растяжение пружины отмечает стрелка на штативе (рис. 151, *а*). Она показывает вес тела в воздухе. Приподняв тело, под него подставляют отливной сосуд, наполненный жидкостью до уровня отливной трубки. После чего тело погружают целиком в жидкость (рис. 151, *б*). При этом *часть жидкости, объём которой равен объёму тела, выливается* из отливного сосуда в стакан. Указатель пружины поднимается вверх, пружина сокращается, показывая уменьшение веса тела в жидкости. В данном случае на тело, наряду с силой тяжести, действует ещё и сила, выталкивающая его из жидкости. Если в ведёрко вылить жидкость из стакана (т. е. ту, которую вытеснило тело), то указатель пружины возвратится к своему начальному положению (рис. 151, *в*).



Ведёрко Архимеда

На основании этого опыта можно заключить, что **сила, выталкивающая целиком погружённое в жидкость тело, равна весу жидкости в объёме этого тела.** Такой же вывод мы получили и в § 48.

Если бы подобный опыт проделать с телом, погружённым в какой-либо газ, то он по-

казал бы, что **сила, выталкивающая тело из газа, также равна весу газа, взятого в объёме тела.**



АРХИМЕД

(287—212 до н. э.)

Установил правило рычага, открыл закон гидростатики

Силу, выталкивающую тело из жидкости или газа, называют *архимедовой силой* в честь древнегреческого учёного **Архимеда**, который впервые указал на её существование и рассчитал её значение.

Итак, опыт подтвердил, что архимедова (или выталкивающая) сила равна весу жидкости в объёме тела, т. е. $F_А = P_ж = gm_ж$. Массу жидкости $m_ж$, вытесняемую телом, можно выразить через её плотность ($\rho_ж$) и объём тела ($V_т$), погружённого в жидкость (так как $V_ж$ — объём вытесненной телом жидкости равен $V_т$ — объёму тела, погружённого в жидкость), т. е. $m_ж = \rho_ж V_т$. Тогда получим

$$F_А = g\rho_ж V_т.$$

$F_А = g\rho_ж V_т$

Следовательно, архимедова сила зависит от плотности жидкости, в которую погружено тело, и от объёма этого тела. Но она не зависит, например, от плотности вещества тела, погружаемого в жидкость, так как эта величина не входит в полученную формулу.

Определим теперь вес тела, погружённого в жидкость (или в газ). Так как две силы, действующие на тело в этом случае, направлены в противоположные стороны (сила тяжести вниз, а архимедова сила вверх), то вес тела в жидкости P_1 будет меньше веса тела в вакууме $P = gm$ (m — масса тела) на архимедову силу $F_А = gm_ж$ ($m_ж$ — масса жидкости (или газа), вытесненной телом), т. е.

$$P_1 = P - F_А, \text{ или } P_1 = gm - gm_ж.$$

Таким образом, *если тело погружено в жидкость (или газ), то оно теряет в своём весе*

столько, сколько весит вытесненная им жидкость (или газ).

Пример. Определите выталкивающую силу, действующую на камень объёмом 1,6 $м^3$ в морской воде.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$V_т = 1{,}6\ м^3$

$\rho_ж = 1030\ \frac{кг}{м^3}$

$g = 9{,}8\ \frac{Н}{кг}$

F_A — ?

Решение:

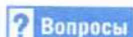
$F_A = g\rho_ж V_т$,

$F_A = 9{,}8\ \frac{Н}{кг} \cdot 1030\ \frac{кг}{м^3} \times$

$\times 1{,}6\ м^3 = 16\ 480\ Н \approx$

$\approx 16{,}5\ кН.$

Ответ: $F_A \approx 16{,}5\ кН$.



1. Как можно на опыте определить, с какой силой тело, погружённое целиком в жидкость, выталкивается из жидкости? 2. Чему равна эта сила? 3. Как называют силу, которая выталкивает тела, погружённые в жидкости и газы? 4. Как подсчитать архимедову силу? 5. От каких величин зависит архимедова сила? От каких величин она не зависит?



УПРАЖНЕНИЕ 26

1. К коромыслу весов подвешены два цилиндра одинаковой массы: свинцовый и алюминиевый. Весы находятся в равновесии. Нарушится ли равновесие весов, если оба цилиндра одновременно погрузить в воду; в спирт? Ответ обоснуйте. Проверьте его на опыте. Как зависит выталкивающая сила от объёма тела?

2. К коромыслу весов подвешены два алюминиевых цилиндра одинакового объёма. Нарушится ли равновесие весов, если один цилиндр погрузить в воду, другой — в спирт? Ответ обоснуйте. Зависит ли выталкивающая сила от плотности жидкости?

3. Объём куска железа 0,1 $дм^3$. Какая выталкивающая сила будет на него действовать при полном его погружении в воду; в керосин?

4. Бетонная плита объёмом 2 $м^3$ погружена в воду. Какую силу необходимо приложить, чтобы удержать её в воде; в воздухе?

5. Предположив, что корона царя Гиерона в воздухе весит 20 Н, а в воде 18,75 Н, вычислите плотность вещества короны.

Полагая, что к золоту было подмешано только серебро, определите, сколько в короне было золота и сколько серебра.

При решении задачи плотность золота считайте равной 20 000 $\frac{кг}{м^3}$, плотность серебра — 10 000 $\frac{кг}{м^3}$. Каков был бы объём короны из чистого золота?

6. По мелким камешкам ходить босыми ногами больно. Почему человек не испытывает боли, если ходит по таким же камням в воде?

Это любопытно...

Легенда об Архимеде

Существует легенда о том, как Архимед пришёл к открытию, что выталкивающая сила равна весу жидкости в объёме тела.

Царь Гиерон (250 лет до н. э.) поручил ему проверить честность мастера, изготовившего золотую корону. Хотя корона весила столько, сколько было отпущено на неё золота, царь заподозрил, что она изготовлена из сплава золота с другими, более дешёвыми металлами. Архимеду было поручено узнать, не ломая короны, есть ли в ней примесь.

Много дней мучила Архимеда эта задача. Взвесить корону было легко, но как найти её объём, ведь корона была очень сложной формы. И вот однажды, находясь в бане, он погрузился в наполненную водой ванну, и его внезапно осенила мысль, давшая решение задачи. Ликующий и возбуждённый своим открытием, Архимед воскликнул: «Эврика! Эврика!», что значит: «Нашёл! Нашёл!»

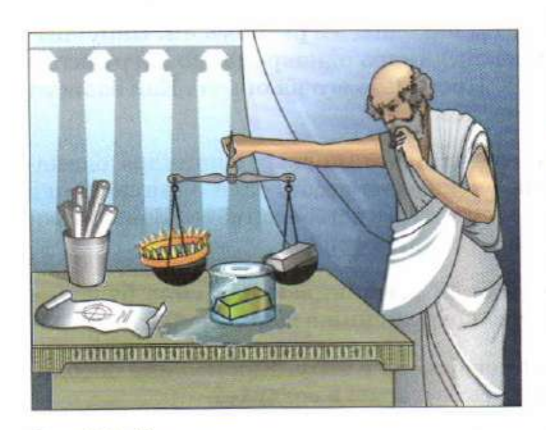


Рис. 152. Задача о золотой короне

Архимед заказал два слитка — один из золота, другой из серебра, равные весу короны. Каждый слиток он погружал поочерёдно в сосуд, доверху наполненный водой. Архимед заметил, что при погружении слитка из серебра воды вытекает больше (рис. 152). Затем он погрузил в воду корону и обнаружил, что воды вылито больше, чем при погружении золотого слитка, а ведь он был равен весу короны. По объёму вытесненной жидкости Архимед определил, что корона была изготовлена не из

чистого золота, а с примесью серебра. Тем самым мастер был изобличён в обмане, а наука обогатилась замечательным открытием.

Задача о золотой короне побудила Архимеда заняться вопросом о плавании тел. В результате появилось замечательное сочинение «О плавающих телах», которое дошло до нас. В этом сочинении Архимедом сформулировано:

Тела, которые тяжелее жидкости, будучи опущены в неё, погружаются всё глубже, пока не достигают дна, и, пребывая в жидкости, теряют в своём весе столько, сколько весит жидкость, взятая в объёме тел.

§ 52 ПЛАВАНИЕ ТЕЛ

На тело, находящееся внутри жидкости, действуют две силы: сила тяжести, направленная вертикально вниз, и архимедова сила, направленная вертикально вверх. Рассмотрим, что будет происходить с телом под действием этих сил, если вначале оно было неподвижно. При этом возможны три случая:

1) *если сила тяжести* $F_{тяж}$ *больше архимедовой силы* F_A, *то тело будет опускаться на дно, тонуть, т. е. если*

$F_{тяж} > F_A$, *то* **тело тонет;**

$F_{тяж} > F_A$
тело тонет

2) *если сила тяжести* $F_{тяж}$ *равна архимедовой силе* F_A, *то тело может находиться в равновесии в любом месте жидкости, т. е. если*

$F_{тяж} = F_A$, *то* **тело плавает;**

$F_{тяж} = F_A$
тело плавает

3) *если сила тяжести* $F_{тяж}$ *меньше архимедовой силы* F_A, *то тело будет подниматься из жидкости, всплывать, т. е. если*

$F_{тяж} < F_A$, *то* **тело всплывает.**

$F_{тяж} < F_A$
тело всплывает

Рассмотрим последний случай подробнее.

Когда всплывающее тело достигнет поверхности жидкости, то при дальнейшем его движении вверх архимедова сила будет уменьшаться. Почему? Да потому, что будет умень-

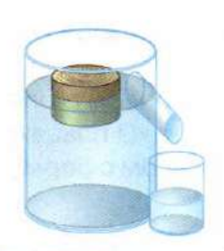


Рис. 153. Вытеснение воды телом

шаться объём части тела, погружённой в жидкость, а архимедова сила равна весу жидкости в объёме погружённой в неё части тела.

Когда архимедова сила станет равной силе тяжести, тело остановится и будет плавать на поверхности жидкости, частично погрузившись в неё.

Полученный вывод легко проверить на опыте.

В отливной сосуд наливают воду до уровня боковой трубки. После этого в сосуд погружают плавающее тело (рис. 153), предварительно взвесив его в воздухе. Опустившись в воду, тело вытесняет объём воды, равный объёму погружённой в неё части тела. Взвесив эту воду, находят, что её вес (архимедова сила) равен силе тяжести, действующей на плавающее тело, или весу этого тела в воздухе.

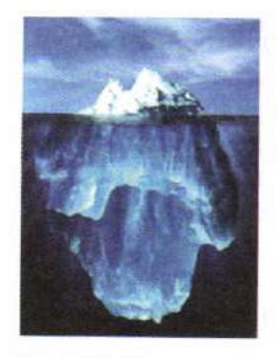


Рис. 154. Плавание тел

Проделав такие же опыты с любыми другими телами, плавающими в разных жидкостях — в воде, спирте, растворе соли, можно убедиться, что *если тело плавает в жидкости, то вес вытесненной им жидкости равен весу этого тела в воздухе.*

Легко доказать, что если *плотность сплошного твёрдого тела больше плотности жидкости, то тело в такой жидкости тонет. Тело с меньшей плотностью всплывает в этой жидкости.* Кусок железа, например, тонет в воде, но всплывает в ртути. Тело же, плотность которого равна плотности жидкости, остаётся в равновесии внутри жидкости.

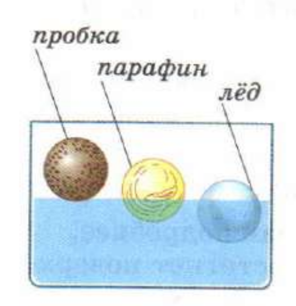


Рис. 155. Погружение в жидкость тел различной плотности

Плавает на поверхности воды и лёд (рис. 154), так как его плотность меньше плотности воды.

Чем меньше плотность тела по сравнению с плотностью жидкости, тем меньшая часть тела погружена в жидкость (рис. 155).

При равных плотностях твёрдого тела и жидкости тело плавает внутри жидкости на любой глубине.


Плавание рыб на больших глубинах

Две несмешивающиеся жидкости, например вода и керосин, располагаются в сосуде в соответствии со своими плотностями: в нижней части сосуда — более плотная вода $\left(\rho = 1000\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$, сверху — более лёгкий керосин $\left(\rho = 800\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$.

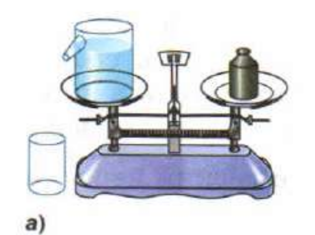
Средняя плотность живых организмов, населяющих водную среду, мало отличается от плотности воды, поэтому их вес почти полностью уравновешивается архимедовой силой. Благодаря этому водные животные не нуждаются в столь прочных и массивных скелетах, как наземные. По этой же причине эластичны стволы водных растений.

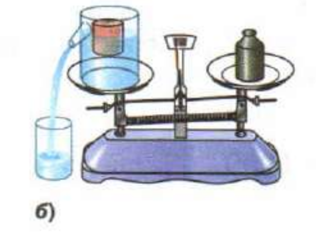
Плавательный пузырь рыбы устроен так, что легко меняет свой объём. Когда рыба с помощью мышц опускается на большую глубину и давление воды на неё увеличивается, пузырь сжимается, объём тела рыбы уменьшается и она не выталкивается вверх, а плавает в глубине. При подъёме объём плавательного пузыря и, соответственно, объём всего тела рыбы увеличивается, и она плавает уже на меньшей глубине. Таким образом рыба может в определённых пределах регулировать глубину своего погружения.

Морские млекопитающие киты регулируют глубину своего погружения за счёт уменьшения и увеличения объёма лёгких.



1. При каком условии тело, находящееся в жидкости, тонет; плавает? всплывает? 2. Как показать на опыте, что вес жидкости, вытесненной плавающим телом, равен весу тела в воздухе? 3. Чему равна выталкивающая сила, которая действует на тело, плавающее на поверхности жидкости? 4. Как зависит глубина погружения в жидкость плавающего тела от его плотности? 5. Почему водные животные не нуждаются в прочных скелетах? 6. Какую роль играет плавательный пузырь у рыб? 7. Как регулируют глубину погружения киты?


а)


б)

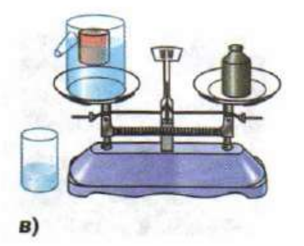
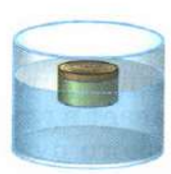

в)

Рис. 156



УПРАЖНЕНИЕ 27

1. На весах уравновесили отливной сосуд с водой (рис. 156, *а*). В воду опустили деревянный брусок. Равновесие весов сначала нарушилось (рис. 156, *б*). Но когда вся вода, вытесненная плавающим бруском, вытекла из сосуда, равновесие весов восстановилось (рис. 156, *в*). Объясните это явление.



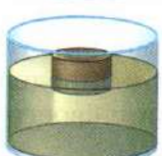


Рис. 157

2. На рисунке 157 изображено одно и то же тело, плавающее в двух разных жидкостях. Плотность какой жидкости больше? Почему? Что можно сказать о силе тяжести, действующей на тело, и архимедовой силе в том и другом случае?

3. Яйцо тонет в пресной воде, но плавает в солёной. Объясните почему. Пронаблюдайте это сами на опыте.

4. Изобразите графически силы, действующие на тело, плавающее на воде, всплывающее на поверхность воды, тонущее в воде.

5. Пользуясь таблицами плотности 2—4, определите, тела из каких металлов будут плавать в ртути, а какие — тонуть.

6. Будет ли кусок льда плавать в бензине, керосине, глицерине?

ЗАДАНИЕ

- Французский учёный *Декарт* (1596—1650) для демонстрации некоторых гидростатических явлений придумал прибор.
  Высокий стеклянный сосуд (банку) наполняли водой, оставляя сверху сосуда небольшой объём воздуха. В этот сосуд опускали небольшую полую стеклянную фигурку. Фигурку заполняли частично во-

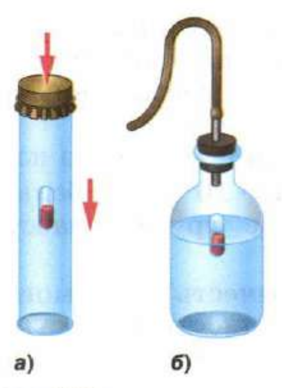

а) б)

Рис. 158

дой и частично воздухом так, чтобы она только немного выходила из воды. Сверху стеклянный сосуд плотно закрывали куском тонкой кожи. Нажимая на кожу, можно было заставить фигурку плавать в воде и на воде, а также тонуть.

- Изготовьте такой прибор («картезианский водолаз») и проделайте с ним опыты. Фигурку замените небольшим поплавком, а сосуд закройте резиновой плёнкой (рис. 158, *а*. На рисунке 158, *б* изображён другой вариант этого прибора).
- Объясните действие прибора. Продемонстрируйте на этом приборе законы плавания тел.

§ 53 ПЛАВАНИЕ СУДОВ


Плавание судов

Суда, плавающие по рекам, озёрам, морям и океанам, построены из разных материалов с различной плотностью. Корпус судов обычно делают из стальных листов. Все внутренние крепления, придающие судам прочность, также изготовляют из металлов. Для постройки судов используют различные материалы, имеющие по сравнению с водой как бо́льшую, так и меньшую плотность.

Благодаря чему же суда держатся на воде, принимают на борт и перевозят большие грузы?

Опыт с плавающим телом (§ 51) показал, что тело вытесняет своей подводной частью столько воды, что вес этой воды равен весу тела в воздухе. Это справедливо и для любого судна.

Вес воды, вытесняемой подводной частью судна, равен весу судна с грузом в воздухе или силе тяжести, действующей на судно с грузом.

Глубину, на которую судно погружается в воду, называют **осадкой**. Наибольшая допускаемая осадка отмечена на корпусе судна красной линией, называемой **ватерлинией** (от голланд. *ватер* — вода).



Рис. 159. Ледокол «Арктика»

Вес воды, вытесняемой судном при погружении до ватерлинии, равный силе тяжести, действующей на судно с грузом, называется водоизмещением судна.

Сейчас для перевозки нефти строят суда водоизмещением 5 000 000 кН ($5 \cdot 10^6$ кН) и больше, т. е. имеющие вместе с грузом массу 500 000 т ($5 \cdot 10^5$ т) и более.

Если из водоизмещения вычесть вес самого судна, то получим грузоподъёмность этого судна. Грузоподъёмность показывает вес груза, перевозимого судном.

Судостроение существовало ещё в Древнем Египте, Финикии, Древнем Китае.

В России судостроение зародилось на рубеже XVII—XVIII вв. Сооружались главным образом военные корабли, но именно в России были созданы первый ледокол, суда с двигателем внутреннего сгорания, атомный ледокол «Арктика» (рис. 159).



? Вопросы 1. На чём основано плавание судов? 2. Что называют осадкой судна? 3. Что такое ватерлиния? 4. Что называют водоизмещением судна?

УПРАЖНЕНИЕ 28

1. Как изменится осадка корабля при переходе из реки в море? Ответ объясните.
2. Сила тяжести, действующая на судно, 100 000 кН. Какой объём воды вытесняет это судно?
3. Плот, плывущий по реке, имеет площадь 8 м^2. После того как на него поместили груз, его осадка увеличилась на 20 см. Каков вес помещённого на плот груза?

ЗАДАНИЕ

1. На рисунке 160 изображены два прибора, плавающие в воде, называемые **ареометрами**.

■ *Пояснение.* Эти приборы используются для измерения плотности жидкости. Первый ареометр, изображённый на рисунке 160, *а*, предназначен для жидкостей, имеющих плотность меньшую, чем вода.

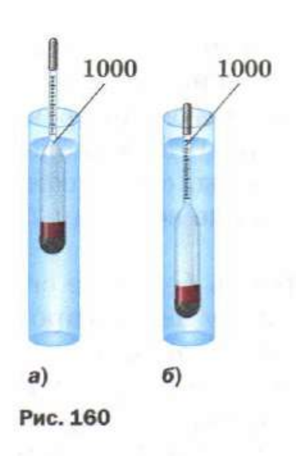


Рис. 160

Деления на нём нанесены сверху вниз. Второй (рис. 160, *б*) — для жидкостей с плотностью большей, чем вода. Деления на нём нанесены снизу вверх. Цифрой 1000 обозначена плотность воды:

$$\rho = 1000\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

- а) Объясните действие таких приборов.
- б) Используя пробирку или деревянную палочку и кусочки свинца, изготовьте ареометры для жидкостей, имеющих плотности бо́льшую и меньшую, чем вода.

2. Налейте в стакан воды, введите в воду конец пипетки и выпускайте из неё понемногу воздух. Затем наберите в пипетку немного жидкого масла и пускайте его под водой по капле. Что вы наблюдаете? Сделайте вывод.

§ 54 ВОЗДУХОПЛАВАНИЕ

С давних времён люди мечтали о возможности летать над облаками, плавать в воздушном океане, как они плавали по морю. Для воздухоплавания вначале использовали воздушные шары (рис. 161, *а*), которые раньше наполняли нагретым воздухом, сейчас — водородом или гелием.

Для того чтобы шар поднялся в воздух, необходимо, чтобы архимедова сила (выталкивающая) F_A, действующая на шар, была больше силы тяжести $F_{тяж}$, т. е. $F_A > F_{тяж}$.

По мере поднятия шара вверх архимедова сила, действующая на него, уменьшается ($F_A = g\rho V$), так как плотность верхних слоёв атмосферы меньше, чем у поверхности Земли. Чтобы подняться выше, с шара сбрасывают специально взятый для этой цели груз (балласт) и этим облегчают шар. В конце концов шар достигает своей предельной высоты подъёма. Для спуска шара из его оболочки при помощи специального клапана выпускают часть газа.



Рис. 161. Воздухоплавание:
а — стратостат;
б — дирижабль;
в — воздушные шары

В горизонтальном направлении воздушный шар перемещается только под действием ветра, поэтому он называется **аэростатом** (от греч. *аэр* — воздух, *стато* — стоящий). Для исследования верхних слоёв атмосферы, стратосферы раньше применялись огромные воздушные шары — **стратостаты.**

До того как научились строить большие самолёты, для перевозки по воздуху пассажиров и грузов применяли управляемые аэростаты — *дирижабли* (значит «управляемый») (рис. 161, *б*). Они имеют удлинённую форму, под корпусом подвешивается гондола для пассажиров и гондола с двигателем, который приводит в движение пропеллер.

Воздушный шар не только сам поднимается вверх, но может поднять и некоторый груз: кабину, людей, приборы. Поэтому, для того чтобы узнать, какой груз может поднять воздушный шар, необходимо определить его *подъёмную силу.*

Пусть, например, в воздух запущен шар объёмом 40 $м^3$, наполненный гелием. Масса гелия, заполняющая оболочку шара, будет равна $m_г = \rho_г V = 0{,}1890\ \frac{кг}{м^3} \cdot 40\ м^3 = 7{,}2$ кг, а его вес равен $P_г = gm_г$; $P_г = 9{,}8\ \frac{Н}{кг} \cdot 7{,}2\ кг = 71$ Н. Выталкивающая же сила (архимедова), действующая на этот шар в воздухе, равна весу воздуха объёмом 40 $м^3$, т. е. $F_А = g\rho_{возд}V$;

$$F_А = 9{,}8\ \frac{Н}{кг} \cdot 1{,}3\ \frac{кг}{м^3} \cdot 40\ м^3 = 520\ Н.$$

Значит, этот шар может поднять груз весом 520 Н – 71 Н = 449 Н. Это и есть его подъёмная сила.

Шар такого же объёма, но наполненный водородом, может поднять груз весом 479 Н. Значит, подъёмная сила его больше, чем шара, наполненного гелием. Но всё же чаще использу-


Наполнение аэростата тёплым воздухом

ют гелий, так как он не горит и поэтому безопаснее. Водород же горючий газ.

Гораздо проще осуществить подъём и спуск шара, наполненного горячим воздухом. Для этого под отверстием, находящимся в нижней части шара, располагают горелку. При помощи газовой горелки можно регулировать температуру воздуха, а значит, его плотность и выталкивающую силу. Чтобы шар поднялся выше, достаточно сильнее нагреть воздух в нём, увеличив пламя горелки. При уменьшении пламени горелки температура воздуха в шаре уменьшается, и шар опускается вниз.


Запуск небесных фонариков

Можно подобрать такую температуру шара, при которой вес шара и кабины будет равен выталкивающей силе. Тогда шар повиснет в воздухе и с него будет легко проводить наблюдения.

По мере развития науки происходили и существенные изменения в воздухоплавательной технике. Появилась возможность для создания новых оболочек для аэростатов, которые стали прочными, морозоустойчивыми и лёгкими.

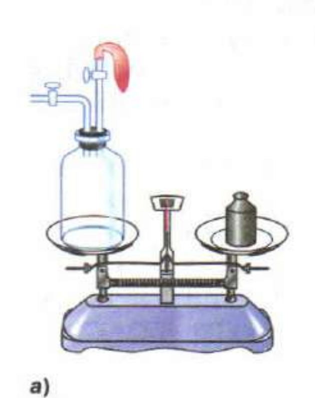
Достижения в области радиотехники, электроники, автоматики позволили создать беспилотные аэростаты. Эти аэростаты используются для изучения воздушных течений, для географических и медико-биологических исследований в нижних слоях атмосферы.

? Вопросы

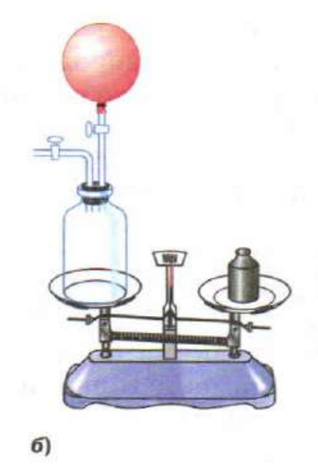
1. Почему воздушные шары наполняют водородом или гелием? 2. Как рассчитать подъёмную силу шара, наполненного гелием? 3. Почему уменьшается выталкивающая сила, действующая на шар, по мере его подъёма? 4. Как регулируют высоту подъёма воздушного шара, наполненного горячим воздухом?

УПРАЖНЕНИЕ 29

1. На весах уравновешена бутылка, внутри которой находится сжатый воздух. Через пробку бутылки пропущена стеклянная трубка с краном, к наружному концу которой привязана оболочка резинового



а)



б)

Рис. 162

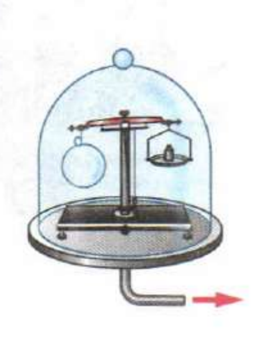


Рис. 163

шара (рис. 162, *а*). Если часть воздуха из бутылки перейдёт в оболочку и раздует её (рис. 162, *б*), то равновесие весов нарушится. Объясните наблюдаемое явление.

2. На весах уравновесили лёгкий стеклянный шарик. Затем весы поместили под колокол воздушного насоса и откачали воздух. Равновесие весов нарушилось (рис. 163). Почему?

3. Один шарик надут воздухом, другой — водородом, третий — углекислым газом. Какие шарики не взлетят? Объясните почему.

ИТОГИ ГЛАВЫ

САМОЕ ГЛАВНОЕ

- Физическая величина, которая определяется отношением силы, действующей перпендикулярно поверхности тела, к площади его поверхности, называется *давлением*.

$$p = \frac{F}{S}.$$

- Согласно *закону Паскаля* давление, которое производит жидкость или газ, передаётся в любую точку без изменений во всех направлениях.
- Сила, выталкивающая тело из жидкости или газа, называется *силой Архимеда*. По закону Архимеда на любое тело, погружённое в жид-

кость, действует выталкивающая сила, равная весу жидкости, вытесненной телом:

$$F_А = g\rho_ж V_т.$$

- Сила Архимеда направлена противоположно силе тяжести.
- Если тело плавает в жидкости, то

$$F_А = F_{тяж}.$$

Если тело всплывает, то

$$F_А > F_{тяж}.$$

Если тело тонет, то

$$F_А < F_{тяж}.$$

ПРОВЕРЬ СЕБЯ

1. Давление твёрдого тела рассчитывают по формуле:
   А. $P = gm$
   Б. $p = \frac{F}{S}$
   В. $\rho = \frac{m}{V}$

2. Давление тела на опору увеличится, если:
   А. уменьшить площадь опоры
   Б. увеличить площадь опоры
   В. увеличить силу и площадь поверхности

3. При повышении температуры давление газа:
   А. увеличится
   Б. уменьшится
   В. не изменится

4. Давление жидкости или газа на стенки сосуда передаётся в любую точку:
   А. одинаково во всех направлениях
   Б. только в направлении дна сосуда
   В. на дно сосуда больше, на стенки меньше

5. С глубиной давление жидкости:
   А. увеличивается
   Б. уменьшается
   В. остаётся неизменным

6. По какой формуле рассчитывается давление на дно и стенки сосуда?

А. $p = \rho g h$ **В.** $P = F_{тяж}$

Б. $P = gm$ **Г.** $\rho = \frac{m}{V}$

7. В один аквариум налили 2 л морской воды, в другой 4 л. Уровень воды относительно дна в первом аквариуме равен 10 см, во втором — 20 см. В каком аквариуме давление на дно больше?

А. в первом в 2 раза больше

Б. во втором в 2 раза больше

В. давление одинаково

8. Какие из перечисленных величин меняются, если молоко из пакета перелить в кувшин?

А. объём

Б. давление

В. сила тяжести

Г. вес

9. Атмосферное давление по мере увеличения высоты над уровнем Земли:

А. увеличивается

Б. уменьшается

В. остаётся неизменным

10. Сила, выталкивающая тело из жидкости или газа, направлена:

А. противоположно силе тяжести, приложенной к телу

Б. в направлении силы тяжести, приложенной к телу

В. в начале в направлении силы тяжести, по мере погружения — противоположно силе тяжести

11. Тело будет плавать, если:

А. $F_{тяж} = F_A$

Б. $F_{тяж} < F_A$

В. $F_{тяж} > F_A$



Выполните задания, предложенные в электронном приложении.

Глава 4

РАБОТА И МОЩНОСТЬ. ЭНЕРГИЯ

§ 55 МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА. ЕДИНИЦЫ РАБОТЫ

В обыденной жизни словом «работа» мы называем всякий полезный труд рабочего, инженера, учёного, учащегося.

Понятие *работы* в физике несколько иное. Это определённая физическая величина, а значит, её можно измерить. В физике изучают прежде всего **механическую работу**.

Рассмотрим примеры механической работы.

Поезд движется под действием силы тяги электровоза, при этом совершается механическая работа. При выстреле из ружья сила давления пороховых газов совершает работу — перемещает пулю вдоль ствола, скорость пули при этом увеличивается.



Совершение работы электровозом

Из этих примеров видно, что механическая работа совершается, когда тело движется под действием силы.

Механическая работа совершается и в том случае, когда сила, действуя на тело (например, сила трения), уменьшает скорость его движения. Желая передвинуть шкаф, мы с силой на него надавливаем, но если он при этом в движение не приходит, то механической работы мы не совершаем.

Можно представить себе случай, когда тело движется без участия сил (по инерции), в этом случае механическая работа также не совершается.

Итак, **механическая работа совершается, только когда на тело действует сила и оно движется.**

Нетрудно понять, что чем бóльшая сила действует на тело и чем длиннее путь, который проходит тело под действием этой силы, тем бóльшая совершается работа.

Механическая работа прямо пропорциональна приложенной силе и прямо пропорциональна пройденному пути.

работа = = сила × путь

Поэтому условились измерять механическую работу произведением силы на путь, пройденный по направлению этой силы

$$A = Fs,$$

где A — работа, F — сила и s — пройденный путь.

За единицу работы принимают работу, совершаемую силой 1 Н, *на пути, равном* 1 м.

$$A = Fs$$

Единица работы — *джоуль* (**Дж**) названа в честь английского учёного Джоуля. Таким образом,

$$1\ Дж = 1\ Н \cdot м.$$

1 Дж = 1 Н · м

Используются также и *килоджоули* (**кДж**).

1 кДж = 1000 Дж;

1 Дж = 0,001 кДж.

Формула $A = Fs$ применима в том случае, когда сила F постоянна и совпадает с направлением движения тела.

Если направление силы совпадает с направлением движения тела, то данная сила совершает *положительную* работу.

Если же движение тела происходит в направлении, противоположном направлению приложенной силы, например силы трения скольжения, то данная сила совершает *отрицательную* работу.

$$A = -F_{тр}s.$$

Если направление силы, действующей на тело, перпендикулярно направлению движения,


Подъём гранитной плиты

то эта сила работы не совершает, работа равна нулю:

$$A = 0.$$

В дальнейшем, говоря о механической работе, мы будем кратко называть её одним словом — работа.

Пример. Вычислите работу, совершаемую при подъёме гранитной плиты объёмом 0,5 м³ на высоту 20 м. Плотность гранита 2500 $\frac{кг}{м^3}$.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	Решение:
$V = 0{,}5$ м³ $\rho = 2500\ \frac{кг}{м^3}$ $h = 20$ м ——— A — ?	$A = Fs$, где F — сила, которую нужно приложить, чтобы равномерно поднимать плиту вверх. Эта сила по модулю равна силе тяжести $F_{тяж}$, действующей на плиту, т. е. $F = F_{тяж}$. А силу тяжести

можно определить по массе плиты: $F_{тяж} = gm$. Массу плиты вычислим, зная её объём и плотность гранита: $m = \rho V$; $s = h$, т. е. путь равен высоте подъёма.

Итак, $m = 2500\ \frac{кг}{м^3} \cdot 0{,}5\ м^3 = 1250$ кг.

$F = 9{,}8\ \frac{Н}{кг} \cdot 1250\ кг \approx 12\ 250$ Н.

$A = 12\ 250\ Н \cdot 20\ м = 245\ 000$ Дж $= 245$ кДж.

Ответ: $A = 245$ кДж.


Вопросы

1. Какие два условия необходимы для совершения механической работы? 2. От каких двух величин зависит совершённая работа? 3. Что принимают за единицу работы? 4. Дайте определение единицы работы 1 Дж. Какие ещё единицы работы вы знаете?

УПРАЖНЕНИЕ 30

1. В каких из нижеперечисленных случаев совершается механическая работа: мальчик влезает на дерево; девочка играет на пианино; вода давит на стенку сосуда; вода падает с плотины?

2. По гладкому горизонтальному льду катится стальной шарик. Допустим, что сопротивление движению шарика (трение о лёд, сопротивление воздуха) отсутствует. Совершается ли при этом работа?

3. При помощи подъёмного крана подняли груз массой 2500 кг на высоту 12 м. Какая работа при этом совершается?

4. Какая работа совершается при подъёме гидравлического молота массой 20 т на высоту 120 см?

ЗАДАНИЕ

1. Вычислите механическую работу, которую вы совершаете, равномерно поднимаясь с первого на второй этаж здания школы. Все необходимые данные получите сами, результат запишите в тетрадь.

2. Рассчитайте, какую механическую работу вы совершаете, равномерно проходя 1 км пути по горизонтальной дороге. Результаты запишите в тетрадь.

- *Указание.* Человек, равномерно идя по ровному горизонтальному пути, совершает примерно 0,05 той работы, которая требовалась бы для поднятия этого человека на высоту, равную длине пути.

§ 56 МОЩНОСТЬ. ЕДИНИЦЫ МОЩНОСТИ


Трактор, вспахивающий землю

На совершение одной и той же работы различным двигателям требуется разное время. Например, подъёмный кран на стройке за несколько минут поднимает на верхний этаж здания сотни кирпичей. Если бы эти кирпичи перетаскивал рабочий, то ему для этого потребовалось бы несколько часов. Другой пример. Гектар земли лошадь может вспахать за 10—12 ч, трактор же с многолемешным плугом эту работу выполнит за 40—50 мин.

Ясно, что подъёмный кран ту же работу совершает быстрее, чем рабочий, а трактор — быстрее, чем лошадь. Быстроту выполнения работы характеризуют особой величиной, называемой *мощностью*.

Мощность равна отношению работы ко времени, за которое она была совершена.

мощность =

$= \frac{\text{работа}}{\text{время}}$

Чтобы вычислить мощность, надо работу разделить на время, в течение которого совершена эта работа:

$$N = \frac{A}{t},$$

где N — мощность, A — работа, t — время выполнения работы.

Мощность — величина постоянная, когда за каждую секунду совершается одинаковая работа, в других случаях отношение $\frac{A}{t}$ определяет среднюю мощность:

$$N = \frac{A}{t}$$

$$N_{\text{ср}} = \frac{A}{t}.$$

За единицу мощности принимают такую мощность, при которой в 1 с *совершается работа в* 1 Дж.

Эту единицу называют *ваттом* **(Вт)** в честь английского учёного Уатта.

Итак,

$$1\ \text{Вт} = 1\ \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$$

$$1\ \text{ватт} = \frac{1\ \text{джоуль}}{1\ \text{секунда}},\ \text{или}\ 1\ \text{Вт} = 1\ \frac{\text{Дж}}{\text{с}}.$$

Ватт (джоуль в секунду) — 1 Вт $\left(1\ \frac{\text{Дж}}{\text{с}}\right)$.

В технике широко используют более крупные единицы мощности — *киловатт* **(кВт)**, *мегаватт* **(МВт)**.

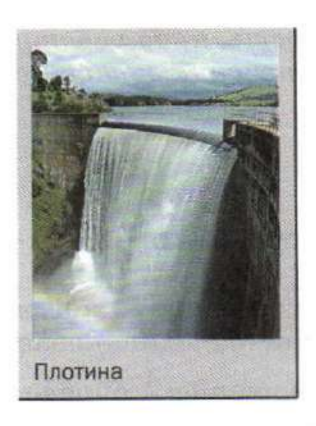
1 МВт = 1 000 000 Вт   1 Вт = 0,000001 МВт
1 кВт = 1000 Вт   1 Вт = 0,001 кВт
1 мВт = 0,001 Вт   1 Вт = 1000 мВт

Мощность двигателя автомобиля часто указывают в лошадиных силах (л. с.):

$$1\ \text{л. с.} = 735{,}5\ \text{Вт}.$$


Тройка лошадей

Пример. Найти мощность потока воды, протекающей через плотину, если высота падения воды 25 м, а расход её — 120 м^3 в минуту.


Плотина

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:
$h = 25$ м
$V = 120$ м^3
$\rho = 1000\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
$t = 60$ с
$g = 9{,}8\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

N — ?

Решение:
Масса падающей воды: $m = \rho V$,

$m = 1000\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 120\ \text{м}^3 =$

$= 120\,000\ \text{кг} = 12 \cdot 10^4\ \text{кг}$.

Сила тяжести, действующая на воду:
$F = gm$,

$F = 9{,}8\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 120\,000\ \text{кг} \approx$

$\approx 1\,200\,000\ \text{Н} = 12 \cdot 10^5\ \text{Н}$.

Работа, совершаемая потоком в минуту:
$A = Fh$,
$A = 1\,200\,000\ \text{Н} \cdot 25\ \text{м} =$
$= 30\,000\,000\ \text{Дж} = 3 \cdot 10^7\ \text{Дж}$.

Мощность потока: $N = \frac{A}{t}$,

$N = \frac{30\,000\,000\ \text{Дж}}{60\ \text{с}} = 500\,000\ \text{Вт} = 0{,}5\ \text{МВт}$.

Ответ: $N = 0{,}5$ МВт.

Различные двигатели имеют мощности от сотых и десятых долей киловатта (двигатель электрической бритвы, швейной машины) до сотен тысяч киловатт (водяные и паровые турбины).

Таблица 5. Мощность некоторых двигателей, кВт

Автомобиль «Волга»	103	Ракета-носитель космического корабля	
Самолёт Ан-2	740		
Дизель тепловоза ТЭП70	2942	«Протон»	44 100 000
Вертолёт Ми-8	2 × 1100	«Энергия»	125 000 000

На каждом двигателе имеется табличка (паспорт двигателя), на которой указаны некоторые данные о двигателе, в том числе и его мощность.

Мощность человека при нормальных условиях работы в среднем равна 70—80 Вт. Совер-

шая прыжки, взбегая по лестнице, человек может развивать мощность до 730 Вт, а в отдельных случаях и бо́льшую.

$A = Nt$

Зная мощность двигателя, можно рассчитать работу, совершаемую этим двигателем в течение какого-нибудь промежутка времени.


Комнатный вентилятор

Из формулы $N = \frac{A}{t}$ следует, что

$$A = Nt.$$

Чтобы вычислить работу, необходимо мощность умножить на время, в течение которого совершалась эта работа.

Пример. Двигатель комнатного вентилятора имеет мощность 35 Вт. Какую работу он совершает за 10 мин?

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	СИ	Решение:
$N = 35$ Вт		$A = Nt,$
$t = 10$ мин	600 с	$A = 35\ \text{Вт} \cdot 600\ \text{с} =$ $= 21\,000\ \text{Вт} \cdot \text{с} =$ $= 21\,000\ \text{Дж} = 21\ \text{кДж}.$
A — ?		

Ответ: $A = 21$ кДж.



1. Что показывает мощность? 2. Как вычислить мощность, зная работу и время? 3. Как называется единица мощности? 4. Какие единицы мощности используют в технике? 5. Как, зная мощность и время работы, рассчитать работу?

УПРАЖНЕНИЕ 31

1. Выразите в киловаттах и мегаваттах мощность: 2500 Вт; 100 Вт.

   Выразите в ваттах мощность: 5 кВт; 2,3 кВт; 0,3 кВт; 0,05 МВт; 0,001 МВт.

2. С плотины высотой 22 м за 10 мин падает 500 т воды. Какая мощность развивается при этом?

3. Какова мощность человека при ходьбе, если за 2 ч он делает 10 000 шагов и за каждый шаг совершает 40 Дж работы?

4. Какую работу совершает двигатель мощностью 100 кВт за 20 мин?

5. Транспортёр за 1 ч поднимает 30 $м^3$ песка на высоту 6 м. Вычислите необходимую для этой работы мощность двигателя. Плотность песка 1500 $\frac{кг}{м^3}$.

6. Штангист поднял штангу массой 125 кг на высоту 70 см за 0,3 с. Какую среднюю мощность развил спортсмен при этом?

ЗАДАНИЕ

1. Рассчитайте мощность, которую вы развиваете, поднимаясь равномерно вначале медленно, а затем быстро с первого на второй этаж школы. Все необходимые данные получите сами.

2. Установите по паспорту прибора мощность электродвигателей пылесоса, мясорубки, кофемолки.

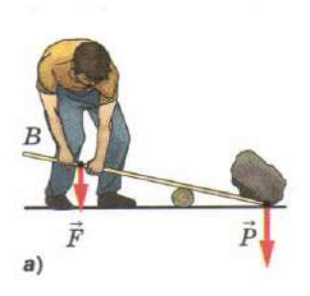
3. Установите, на какую мощность рассчитаны двигатели автомобилей, которые вы знаете.

§ 57 ПРОСТЫЕ МЕХАНИЗМЫ

С незапамятных времён человек использует для совершения механической работы различные приспособления.

Каждому известно, что тяжёлый предмет (камень, шкаф, станок), который невозможно передвинуть непосредственно, сдвигают с места при помощи достаточно длинной палки — рычага (рис. 164).

С помощью рычагов три тысячи лет назад при строительстве пирамид в Древнем Египте передвигали и поднимали на большую высоту тяжёлые каменные плиты (рис. 165).



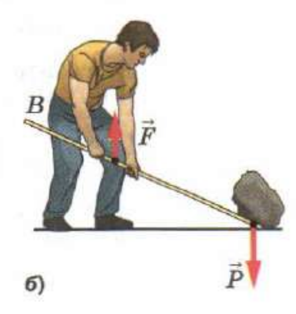


Рис. 164. Использование рычага

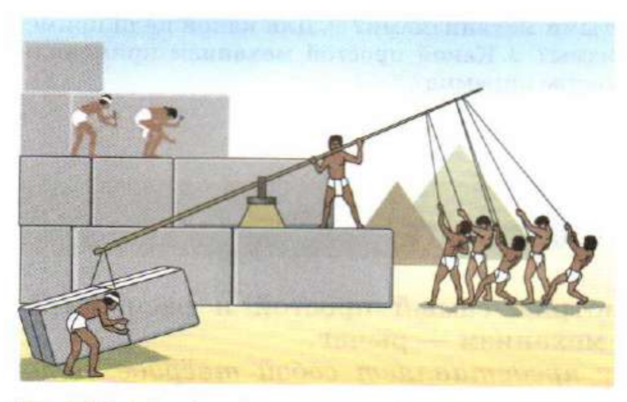
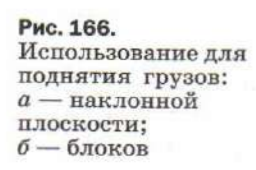


Рис. 165.
Строительство пирамид





а)



б)

Рис. 166.
Использование для поднятия грузов:
а — наклонной плоскости;
б — блоков

Во многих случаях, вместо того чтобы поднимать тяжёлый груз на некоторую высоту, его вкатывают или втаскивают на ту же высоту по наклонной плоскости (рис. 166, *а*) или поднимают с помощью блоков (рис. 166, *б*).

Приспособления, служащие для преобразования силы, называют **механизмами.**

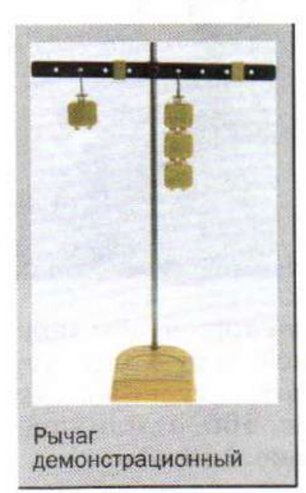
К простым механизмам относятся: *рычаг* и его разновидности — *блок, ворот*; *наклонная плоскость* и её разновидности — *клин, винт*. В большинстве случаев простые механизмы применяют для того, чтобы получить выигрыш в силе, т. е. увеличить силу, действующую на тело, в несколько раз.

Простые механизмы имеются и в бытовых, и во всех сложных заводских и фабричных машинах, которые режут, скручивают и штампуют большие листы стали или вытягивают тончайшие нити, из которых делают ткани. Эти же механизмы можно обнаружить и в современных сложных автоматах, печатных и счётных машинах.



1. Что называют простыми механизмами? 2. Для какой цели применяют простые механизмы? 3. Какой простой механизм применяли в Египте при строительстве пирамид?

§ 58 РЫЧАГ. РАВНОВЕСИЕ СИЛ НА РЫЧАГЕ



Рычаг демонстрационный

Рассмотрим самый простой и распространённый механизм — рычаг.

Рычаг представляет собой твёрдое тело, которое может вращаться вокруг неподвижной опоры.

На рисунке 164 показано, как рабочий для поднятия груза использует в качестве рычага лом. В первом случае рабочий с силой F нажимает на конец лома B, во втором — приподнимает конец B.

Рабочему нужно преодолеть вес груза P — силу, направленную вертикально вниз. Он поворачивает для этого лом вокруг оси, проходящей через единственную *неподвижную* точку лома — точку его опоры O. Сила F, с которой рабочий действует на рычаг, меньше силы P, таким образом, рабочий получает *выигрыш в силе*. При помощи рычага можно поднять такой тяжёлый груз, который без рычага поднять нельзя.

На рисунке 167 изображён рычаг, ось вращения которого O (точка опоры) расположена между точками приложения сил A и B. На рисунке 168 показана схема этого рычага. Обе силы F_1 и F_2, действующие на рычаг, направлены в одну сторону.

Кратчайшее расстояние между точкой опоры и прямой, вдоль которой действует на рычаг сила, называется плечом силы.

Чтобы найти плечо силы, надо из точки опоры опустить перпендикуляр на линию действия силы.

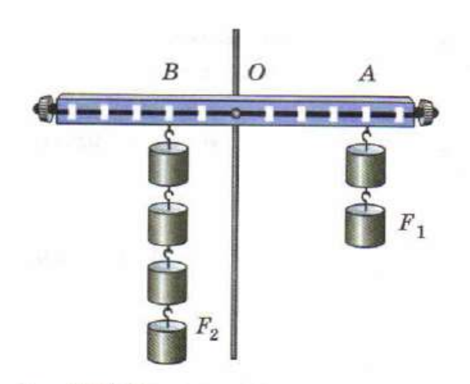


Рис. 167. Рычаг с осью вращения

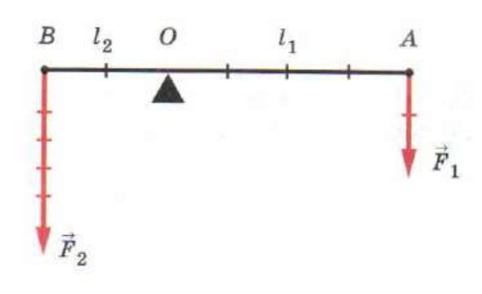


Рис. 168. Графическое изображение рычага с осью вращения

Длина этого перпендикуляра и будет плечом данной силы. На рисунке 168 показано, что OA — плечо силы F_1; OB — плечо силы F_2. Силы, действующие на рычаг, могут повернуть его вокруг оси в двух направлениях: по ходу или против хода часовой стрелки. Так, сила F_1 (см. рис. 167) вращает рычаг по ходу часовой стрелки, а сила F_2 вращает его против хода часовой стрелки.

Условие, при котором рычаг находится в равновесии под действием приложенных к нему сил, можно установить на опыте. При этом надо помнить, что результат действия силы зависит не только от её числового значения (модуля), но и от того, в какой точке она приложена к телу и как направлена.

К рычагу (см. рис. 167) по обе стороны от точки опоры подвешивают различные грузы так, чтобы рычаг каждый раз оставался в равновесии. Действующие на рычаг силы равны весам этих грузов. Для каждого случая измеряют модули сил и их плечи. Из опыта, изображённого на рисунке 167, видно, что сила 2 Н уравновешивает силу 4 Н. При этом, как видно из рисунка, плечо меньшей силы в 2 раза больше плеча большей силы.

На основании таких опытов было установлено условие (правило) равновесия рычага.

Рычаг находится в равновесии тогда, когда силы, действующие на него, обратно пропорциональны плечам этих сил.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$$

Это правило можно записать в виде формулы

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1},$$

где F_1 и F_2 — силы, действующие на рычаг, l_1 и l_2 — плечи этих сил (см. рис. 168).

Правило равновесия рычага было установлено Архимедом около 287—212 гг. до н. э.

Из этого правила следует, что *меньшей силой можно уравновесить при помощи рычага бо́льшую силу*. Пусть одно плечо рычага в 2 раза больше другого (см. рис. 167). Тогда, прикладывая в точке A силу, например, в 400 Н, можно в точке B уравновесить рычаг силой, равной 800 Н. Чтобы поднять ещё более тяжёлый груз, нужно увеличить длину плеча рычага, на которое действует рабочий.

Пример. С помощью рычага рабочий поднимает каменную глыбу массой 240 кг (см. рис. 164). Какую силу прикладывает он к большему плечу рычага, равному 2,4 м, если меньшее плечо равно 0,6 м?

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:
$m = 240$ кг
$g = 9{,}8\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$
$l_1 = 2{,}4$ м
$l_2 = 0{,}6$ м

F_1 — ?

Решение:
По правилу равновесия рычага $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$, откуда $F_1 = F_2\frac{l_2}{l_1}$, где $F_2 = P$ — вес плиты. Вес плиты $P = gm$, $P = 9{,}8\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 240\ \text{кг} \approx 2400$ Н.

Тогда $F_1 = 2400\ \text{Н} \cdot \frac{0{,}6\ \text{м}}{2{,}4\ \text{м}} = 600$ Н.

Ответ: $F_1 = 600$ Н.

В нашем примере рабочий преодолевает силу 2400 Н, прикладывая к рычагу силу 600 Н. Он получает выигрыш в силе в 4 раза. Но при этом плечо, на которое действует рабочий, в 4 раза длиннее того, на которое действует вес плиты ($l_1 : l_2 = 2{,}4$ м : 0,6 м = 4).

Применяя правило рычага, можно меньшей силой уравновесить бóльшую силу. При этом плечо меньшей силы должно быть длиннее плеча большей силы.

? Вопросы 1. Что представляет собой рычаг? 2. Что называют плечом силы? 3. Как найти плечо силы? 4. Какое действие оказывают на рычаг силы? 5. В чём состоит правило равновесия рычага? 6. Кто установил правило равновесия рычага?

§ 59 МОМЕНТ СИЛЫ

Вам уже известно правило равновесия рычага:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}.$$

Пользуясь свойством пропорции (произведение её крайних членов равно произведению средних членов), запишем его в таком виде:

$$F_1 l_1 = F_2 l_2.$$

В левой части равенства стоит произведение силы F_1 на её плечо l_1, а в правой — произведение силы F_2 на её плечо l_2.

$M = Fl$

Произведение модуля силы, вращающей тело, на её плечо называется **моментом силы**; он обозначается буквой M. Следовательно,

$$M = Fl.$$

Рычаг находится в равновесии под действием двух сил, если момент силы, вращающей его по ходу часовой стрелки, равен моменту силы, вращающей его против хода часовой стрелки.

Это правило, называемое **правилом моментов**, можно записать в виде формулы:

$$M_1 = M_2.$$

Действительно, в рассмотренном нами опыте (§ 57) действующие на рычаг силы были равны 2 Н и 4 Н, их плечи соответственно составляли 4 и 2 деления рычага, т. е. моменты этих сил одинаковы при равновесии рычага.

Момент силы, как и всякая физическая величина, может быть измерен. *За единицу момента силы принимается момент силы в* 1 Н, *плечо которой равно* 1 м.

Эта единица называется *ньютон-метр* (**Н · м**).

Момент силы характеризует действие силы и показывает, что оно зависит одновременно и от модуля силы, и от её плеча. Действительно, мы уже знаем, например, что действие силы на дверь зависит и от модуля силы, и от того, где приложена сила. Дверь тем легче повернуть, чем дальше от оси вращения приложена действующая на неё сила. Гайку легче отвернуть длинным гаечным ключом, чем коротким. Ведро тем легче поднять из колодца, чем длиннее ручка во́рота, и т. д.



1. Что называется моментом силы? Как выражается момент силы через модуль силы и её плечо? 2. В чём состоит правило моментов? 3. Что принимают за единицу момента силы? Как называется эта единица?

§ 60 РЫЧАГИ В ТЕХНИКЕ, БЫТУ И ПРИРОДЕ

Правило равновесия рычага (или правило моментов) лежит в основе действия различного рода инструментов и устройств, применяемых в технике и быту там, где требуется выигрыш в силе или в пути.

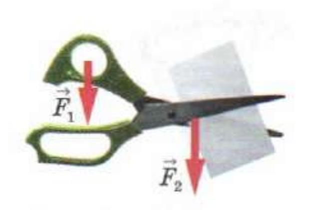


Рис. 169. Ножницы бытовые



Рис. 170. Ножницы для резки листового металла

Выигрыш в силе мы имеем при работе с ножницами. *Ножницы* — **это рычаг** (рис. 169), ось вращения которого проходит через винт, соединяющий обе половины ножниц. Действующей силой F_1 является мускульная сила руки человека, сжимающего ножницы. Противодействующей силой F_2 — сила сопротивления того материала, который режут ножницами. В зависимости от назначения ножниц их устройство бывает различным. Конторские ножницы, предназначенные для резки бумаги, имеют длинные лезвия и почти такой же длины ручки. Для резки бумаги не требуется большой силы, а длинным лезвием удобнее резать по прямой линии.

Ножницы для резки листового металла (рис. 170) имеют ручки гораздо длиннее лезвий, так как сила сопротивления металла велика и для её уравновешивания плечо действующей силы приходится значительно увеличивать. Ещё больше разница между длиной ручек и расстоянием режущей части от оси вращения в *кусачках* (рис. 171), предназначенных для перекусывания проволоки.



Рис. 171. Кусачки

Рычаги различного вида имеются у многих машин. Ручка швейной машины, педали или ручной тормоз велосипеда, педали автомобиля и трактора, клавиши пианино — всё это примеры рычагов, используемых в данных машинах и инструментах.

Примеры применения рычагов — это рукоятки тисков, рычаг сверлильного станка и т. д.



Рис. 172. Весы рычажные

На принципе рычага основано действие и рычажных весов (рис. 172). Учебные весы, изображённые на рисунке 48 (с. 59), действуют как *равноплечий рычаг*.

Устройство весов для взвешивания грузовых автомобилей и вагонов также основано на правиле рычага.

Рычаги встречаются также в разных частях тела животных и человека. Это, например, конечности, челюсти. Много рычагов можно указать в теле насекомых, птиц, в строении растений. Например, тычинки цветка шалфея представляют собой своеобразные рычаги. От оси тычинок отходят два плеча: длинное и короткое. На конце длинного изогнутого, как коромысло плеча, висит пыльцевой мешочек, а короткое плечо сплющено. Оно закрывает вход в глубину цветка, где находится нектар. Шмель, пытаясь дотянуться до нектара, обязательно задевает короткое плечо. При этом длинное плечо опускается, осыпая спинку шмеля пыльцой. А шмель летит дальше, касается рыльца пестика нового цветка и опыляет его.



Опыление шалфея шмелём

а) б) в)

г) д)

Рис. 173

? Вопросы 1. Пользуясь рисунком 169, объясните действие ножниц как рычага. 2. Объясните, почему ножницы для резки листового металла и кусачки (см. рис. 170 и 171) дают выигрыш в силе. 3. Приведите примеры применения рычагов в быту, в технике.

УПРАЖНЕНИЕ 32



Рис. 174

1. Укажите точку опоры и плечи рычагов, изображённых на рисунке 173.
2. Рассмотрите рисунки 173, *г* и *д*. При каком расположении груза на палке момент его силы тяжести больше? В каком случае груз легче нести? Почему?
3. Пользуясь рисунком 174, объясните, как при гребле используется рычаг и для чего это нужно.

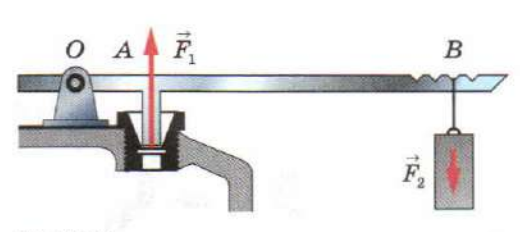


Рис. 175

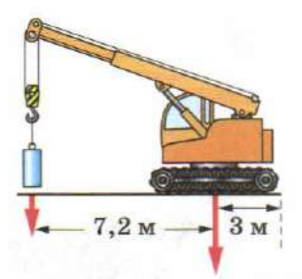


Рис. 176

4. На рисунке 175 изображён разрез предохранительного клапана. Рассчитайте, какой груз надо повесить на рычаг, чтобы пар через клапан не выходил. Давление в котле в 12 раз больше нормального атмосферного давления. Площадь клапана $S = 3$ см^2, вес клапана и вес рычага не учитывать. Плечи сил измерьте по рисунку. Куда нужно переместить груз, если давление пара в котле увеличится; уменьшится? Ответ обоснуйте.

5. На рисунке 176 изображён подъёмный кран. Рассчитайте, какой груз можно поднимать при помощи этого крана, если масса противовеса 1000 кг. Сделайте расчёт, пользуясь равенством моментов сил.

ЗАДАНИЕ

- В Интернете найдите фотографию какого-либо насекомого или птицы. Рассмотрите изображение. Какие части тела насекомого (птицы) являются рычагами? Работу оформите в виде презентации.

§ 61 ПРИМЕНЕНИЕ ПРАВИЛА РАВНОВЕСИЯ РЫЧАГА К БЛОКУ



Рис. 177. Неподвижный блок

Блок представляет собой колесо с жёлобом, укрепленное в обойме. По жёлобу блока пропускают верёвку, трос или цепь.

Неподвижным блоком называют такой блок, ось которого закреплена и при подъёме грузов не поднимается и не опускается (рис. 177).

Неподвижный блок можно рассматривать как равноплечий рычаг, у которого плечи сил равны радиусу колеса (рис. 178): $OA = OB = r$. Такой блок не даёт выигрыша в силе ($F_1 = F_2$),

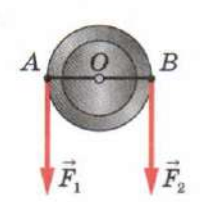


Рис. 178. Неподвижный блок как равноплечный рычаг

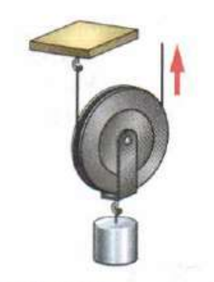


Рис. 179. Подвижный блок

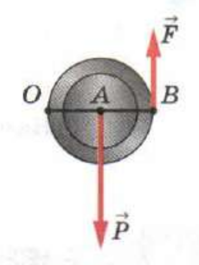


Рис. 180. Подвижный блок как рычаг с неравными плечами

но позволяет изменять направление действия силы.

Подвижный блок — это блок, ось которого поднимается и опускается вместе с грузом (рис. 179). На рисунке 180 показан соответствующий ему рычаг: O — точка опоры рычага, OA — плечо силы P и OB — плечо силы F. Так как плечо OB в 2 раза больше плеча OA, то сила F в 2 раза меньше силы P:

$$F = \frac{P}{2}.$$

Таким образом, **подвижный блок даёт выигрыш в силе в 2 раза.**

Это можно доказать и пользуясь понятием момента силы. При равновесии блока моменты сил F и P равны друг другу. Но плечо силы F равно диаметру блока OB, плечо силы P — его радиусу OA. При равенстве моментов силы имеют неравные плечи. Значит, меньше та сила, плечо которой больше. Поскольку плечо силы F в 2 раза больше плеча силы P, то сама сила F в 2 раза меньше силы P.

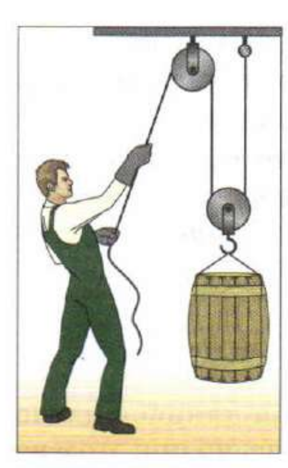
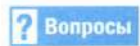


Рис. 181. Комбинация подвижных и неподвижных блоков — полиспаст

Обычно на практике применяют комбинацию неподвижного блока с подвижным (рис. 181). Неподвижный блок применяется только для удобства. Он не даёт выигрыша в силе, но изменяет направление действия силы, например позволяет поднимать груз, стоя на земле.



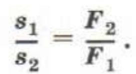
1. Какой блок называют неподвижным, а какой подвижным? 2. Для какой цели применяют неподвижный блок? 3. Какой выигрыш в силе даёт подвижный блок? 4. Можно ли рассматривать неподвижный и подвижный блоки как рычаги? Начертите схемы таких рычагов. 5. Назовите примеры применения блока.

§ 62 РАВЕНСТВО РАБОТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОСТЫХ МЕХАНИЗМОВ. «ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО» МЕХАНИКИ

Рассмотренные нами простые механизмы применяют при совершении работы в тех случаях, когда надо действием одной силы уравновесить другую силу.

Естественно, возникает вопрос: позволяя получить выигрыш в силе или в пути, нельзя ли с помощью простых механизмов получить выигрыш и в работе? Для ответа на поставленный вопрос проделаем опыт.

Уравновесив на рычаге две какие-нибудь разные по модулю силы F_1 и F_2 (рис. 182), приводят рычаг в движение. При этом оказывается, что за одно и то же время точка приложения меньшей силы F_2 проходит больший путь s_2, а точка приложения большей силы F_1 — меньший путь s_1. Измерив эти пути и модули сил, находят, что *пути, пройденные точками приложения сил на рычаге, обратно пропорциональны силам*:



$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{F_2}{F_1}.$$

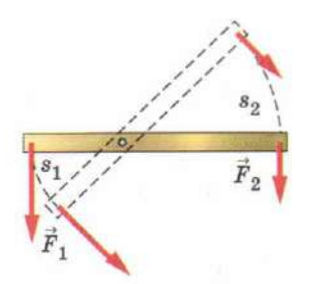


Рис. 182. Выигрываем в силе, но проигрываем в расстоянии

Таким образом, **действуя на длинное плечо рычага, мы выигрываем в силе, но при этом во столько же раз проигрываем в пути.**

Произведение силы F на путь s есть работа. Наши опыты показывают, что работы, совер-

шаемые силами, приложенными к рычагу, равны друг другу:

$$F_1s_1 = F_2s_2, \text{ т. е. } A_1 = A_2.$$

Итак, **при использовании рычага выигрыша в работе не получают.**

Пользуясь рычагом, мы можем выиграть или в силе, или в расстоянии. Если мы силу приложим к длинному плечу, то выиграем в силе, но во столько же раз проиграем в расстоянии. Действуя же силой на короткое плечо рычага, мы выиграем в расстоянии, но во столько же раз проиграем в силе.

Существует легенда, что Архимед, восхищённый открытием правила рычага, воскликнул: «Дайте мне точку опоры, и я подниму Землю!»

Конечно, Архимед не мог бы справиться с такой задачей, если бы даже ему и дали точку опоры (которая должна была бы находиться вне Земли) и рычаг нужной длины.

Для подъёма Земли всего на 1 см длинное плечо рычага должно было бы описать дугу огромной длины. Для перемещения длинного конца рычага по этому пути, например со скоростью 1 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$, потребовались бы миллионы лет.

Не даёт выигрыша в работе и неподвижный блок, в чём легко убедиться на опыте (см. рис. 168). Пути, проходимые точками приложения сил F_1 и F_2, одинаковы, одинаковы и силы, а значит, одинаковы и работы.

Можно измерить и сравнить между собой работы, совершаемые с помощью подвижного блока. Чтобы при помощи подвижного блока поднять груз на высоту h, необходимо конец верёвки, к которому прикреплён динамометр, как показывает опыт (рис. 183), переместить на высоту $2h$.

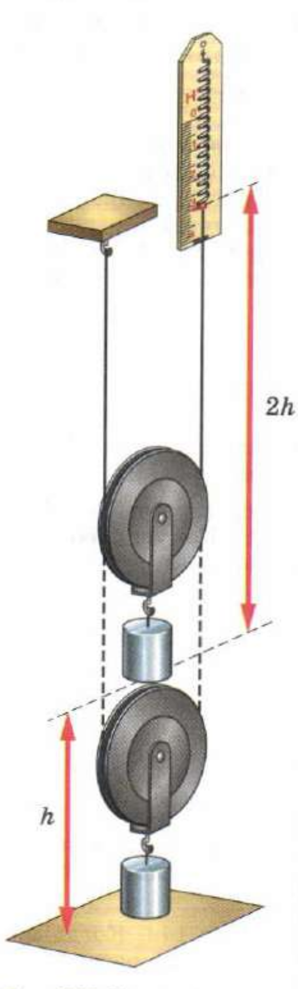


Рис. 183. Поднятие груза с помощью подвижного блока

Таким образом, *получая выигрыш в силе в 2 раза, проигрывают в 2 раза в пути*, следова-

тельно, и *подвижный блок не даёт выигрыша в работе*.

Многовековая практика показала, что *ни один из механизмов не даёт выигрыша в работе*. Применяют же различные механизмы для того, чтобы в зависимости от условий работы выиграть в силе или в пути.

Уже древним учёным было известно правило, применимое ко всем механизмам: *во сколько раз выигрываем в силе, во столько раз проигрываем в расстоянии*. Это правило назвали *«золотым правилом»* механики.

? Вопросы

1. Какое соотношение существует между силами, действующими на рычаг, и плечами этих сил (см. рис. 167)? 2. Какое соотношение существует между путями, пройденными точками приложения сил на рычаге, и этими силами? 3. В чём проигрывают, пользуясь рычагом, дающим выигрыш в силе? 4. Во сколько раз проигрывают в пути, используя для поднятия грузов подвижный блок? 5. В чём состоит «золотое правило» механики?

УПРАЖНЕНИЕ 33

1. С помощью подвижного блока груз подняли на высоту 1,5 м. На какую длину при этом был вытянут свободный конец верёвки?
2. Рабочий с помощью подвижного блока поднял груз на высоту 7 м, прилагая к свободному концу верёвки силу 160 Н. Какую работу он совершил? (Вес блока и силу трения не учитывать.)
3. Как применить блок для выигрыша в расстоянии?
4. Как можно соединить друг с другом неподвижные и подвижные блоки, чтобы получить выигрыш в силе в 4 раза; в 6 раз?
5. Решите задачу 2, учитывая вес блока, равный 20 Н.

ЗАДАНИЕ

- Докажите, что закон равенства работ («золотое правило» механики) применим к гидравлической машине. Трение между поршнями и стенками сосудов не учитывайте.
- *Указание*. Используйте для доказательства рисунок 144. Когда малый поршень под действием силы F_1 опускается вниз на расстояние h_1, он вытесняет некоторый объём жидкости. На столько же увеличивается объём жидкости под большим поршнем, который при этом поднимается на высоту h_2.

§ 63 ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ ТЕЛА

При создании машин, механизмов и различных конструкций важно знать, при каких условиях они будут устойчивыми, т. е. находиться в равновесии. Каким же образом можно добиться равновесия тела? Возьмём линейку и, обвязав её петлёй, подвесим на нити. Затем, перемещая петлю по линейке, можно найти положение, в котором линейка будет находиться в равновесии. В этом случае говорят, что линейка подвешена в центре тяжести. Центр тяжести имеется у каждого тела. Что же такое центр тяжести? Разделим мысленно тело на несколько частей. На каждую часть будет действовать сила тяжести, которая всегда направлена вертикально вниз (рис. 184).

Точку приложения равнодействующей сил тяжести, действующих на отдельные части тела, называют центром тяжести тела.

Как же найти центр тяжести в различных твёрдых телах? Проделаем следующий опыт. Возьмём фигуру неправильной формы из картона (рис. 185, *а*) и подвесим её на гвоздь вместе с отвесом. На фигуру действуют две силы: сила тяжести и сила упругости. Поскольку картон находится в покое, то эти *две силы взаимно уравновешиваются, т. е. они равны по величине и направлены в разные стороны*. Это зна-

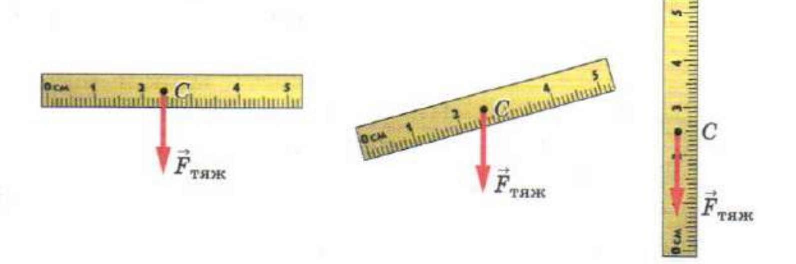


Рис. 184. Направление действия силы тяжести

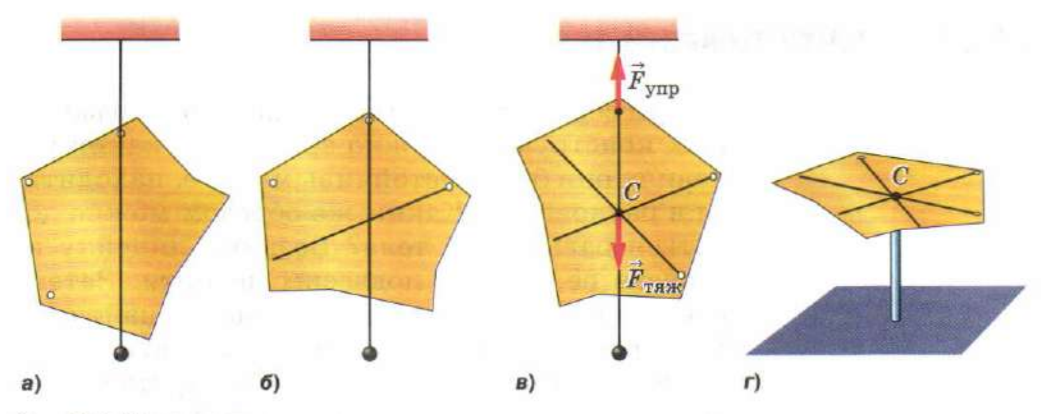


Рис. 185. Нахождение центра тяжести плоского тела

чит, что точки приложения сил лежат на одной вертикальной прямой, отмеченной отвесом.

Проведём на фигуре вертикальную линию по отвесу. Затем подвесим её в другой точке и снова проведём по отвесу вертикальную линию (рис. 185, *б*). Сколько бы ни проводили таким способом линий, все они пересекутся в одной точке, которая и будет центром тяжести тела *C* (рис. 185, *в*). Проверить это можно, если на остриё карандаша поместить фигуру в найденном центре тяжести. Она окажется в равновесии (рис. 185, *г*).

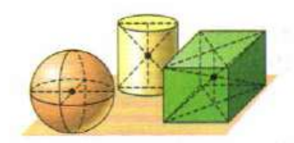


Рис. 186. Центр тяжести твёрдых тел

Во время опыта мы несколько раз меняли положение картонной фигуры, но центр тяжести её оставался в одной и той же точке.

При любом положении тела центр тяжести его находится в одной и той же точке.

Например, центр тяжести шара лежит в его геометрическом центре, у цилиндра он находится на середине линии, соединяющей центры его оснований, у параллелепипеда — в точке пресечения диагоналей (рис. 186). Иногда центр тяжести может находиться и вне тела. Например, у кольца он лежит на пересечении диаметров (рис. 187).

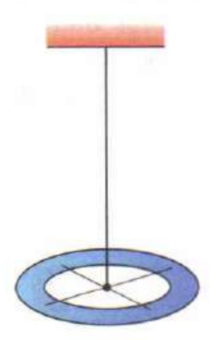


Рис. 187. Центр тяжести кольца

Положение центра тяжести может изменяться только при изменении относительного расположения частей тела.

? Вопросы 1. Что такое центр тяжести? 2. Где может находиться центр тяжести тела? 3. В каких случаях может меняться положение центра тяжести тела?

§ 64 УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ ТЕЛ


Равновесие в природе

Раздел механики, изучающий условия равновесия тел, называется **статикой**.

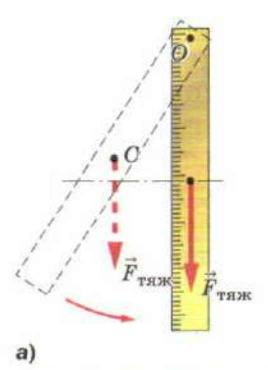
Рассмотрим различные случаи равновесия тел, имеющих одну точку опоры.

Повесим на гвоздь линейку так, чтобы она заняла положение равновесия (рис. 188, *а*). Если линейку отклонить в сторону, то под действием силы тяжести она возвратится в прежнее положение.

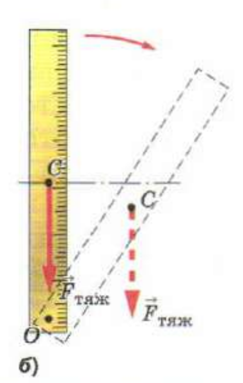
Равновесие, при котором выведенное из положения равновесия тело вновь к нему возвращается, называют **устойчивым**.

При устойчивом равновесии центр тяжести тела расположен ниже оси вращения и находится на вертикальной прямой, проходящей через эту ось.

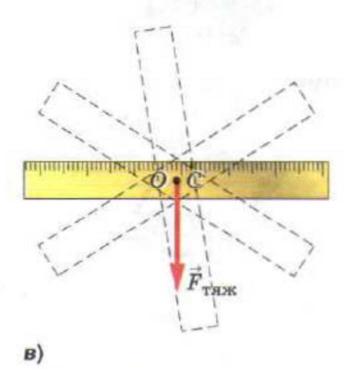
Теперь расположим линейку таким образом, чтобы центр тяжести находился на одной вертикальной линии с точкой опоры, но выше неё (рис. 188, *б*). Если линейку вывести из по-



а)

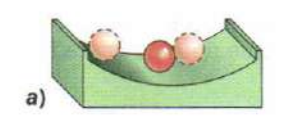


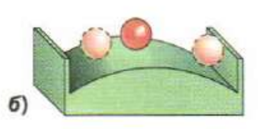
б)



в)

Рис. 188. Расположение центра тяжести при устойчивом равновесии





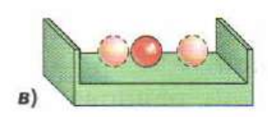


Рис. 189. Виды равновесия:
а — устойчивое;
б — неустойчивое;
в — безразличное

ложения равновесия, то она больше в начальное положение не вернётся, так как сила тяжести, действующая на линейку, препятствует этому.

Равновесие, при котором выведенное из равновесия тело не возвращается в начальное положение, называют **неустойчивым.**

При неустойчивом равновесии центр тяжести тела расположен выше оси вращения и находится на вертикальной прямой, проходящей через эту ось.

Подвесим линейку на гвоздь так, чтобы центр тяжести линейки и точка опоры совпадали (рис. 188, *в*). Линейка от толчков будет менять своё положение, но равновесия не потеряет.

Равновесие называют **безразличным**, если при отклонении или перемещении тела оно остаётся в равновесии.

При безразличном равновесии ось вращения тела проходит через его центр тяжести, при этом центр тяжести тела остаётся на одном и том же уровне при любых положениях тела.

Шарик, находящийся в устойчивом равновесии, показан на рисунке 189, *а*, в неустойчивом — на рисунке 189, *б* и в безразличном — на рисунке 189, *в*.

Вид равновесия можно установить по изменению положения центра тяжести тела, когда его выводят из состояния равновесия. Если центр тяжести при этом поднимается, равновесие устойчивое, если центр тяжести при этом опускается, равновесие тела неустойчивое, если центр тяжести в любом положении тела остаётся на одном уровне, то равновесие тела безразличное.

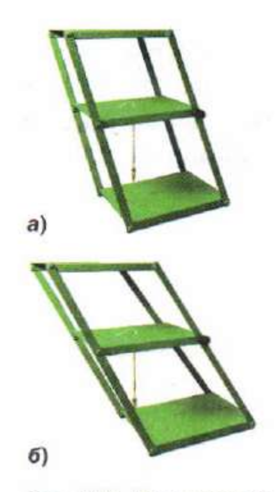


Рис. 190. Равновесие призмы на шарнирах:
а — устойчивое;
б — неустойчивое

В устойчивом равновесии находится любое тело, висящее на нити: лампа, люстра, грузик отвеса и т. д.

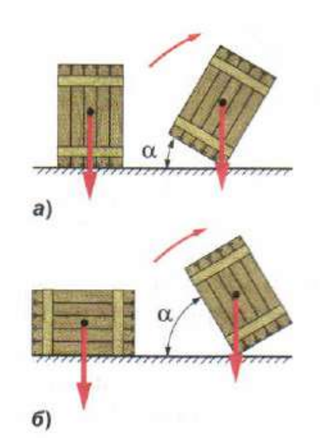


Рис. 191. Зависимость устойчивости положения тела от угла поворота

В безразличном равновесии находятся колёса автомобиля, велосипеда и другие вращающиеся части машин, у которых ось вращения проходит через их центр тяжести.

Цирковые артисты, например, при ходьбе по канату сохраняют равновесие, изменяя положение своего центра тяжести.

Теперь рассмотрим условия равновесия тел, имеющих площадь опоры. Большинство предметов, окружающих нас, опирается на некоторую площадь. Например, дома, автомобили, станки и т. д.

Возьмём призму на шарнирах (рис. 190, *а*). К центру тяжести призмы прикрепим отвес. Будем постепенно менять форму призмы.

Равновесие призмы остаётся устойчивым, пока линия отвеса проходит через площадь опоры. Как только линия отвеса оказывается на границе площади опоры, равновесие становится неустойчивым (рис. 190, *б*). При незначительном отклонении влево призма опрокидывается.

Об устойчивости положения тела можно также судить по величине угла поворота, необходимого для приведения тела в неустойчивое равновесие.

Чтобы тело заняло положение неустойчивого равновесия, его надо повернуть вокруг оси, проходящей через линию опоры. Чем больше угол α, на который нужно для этого повернуть тело (рис. 191), тем устойчивее первоначальное положение тела.

Величина угла поворота, а следовательно, и устойчивость тела зависят от размеров площади, на которую оно опирается, и от положения его центра тяжести.



1. Какое равновесие называют устойчивым? 2. Где расположен центр тяжести тела при устойчивом равновесии? 3. Какое равновесие называют неустойчивым? 4. Где расположен центр тяжести тела при неустойчивом равновесии? 5. Какое равновесие называют безразличным? 6. Где расположен центр тяжести при безразличном равновесии?

§ 65 КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ МЕХАНИЗМА

Рассматривая устройство и действие рычага, мы не учитывали трение, а также вес рычага. В этих идеальных условиях работа, совершённая приложенной силой (эту работу мы будем называть *полной*), равна *полезной* работе по подъёму грузов или преодолению какого-либо сопротивления.

На практике совершённая с помощью механизма полная работа всегда несколько больше полезной работы.

Часть работы совершается против силы трения в механизме и по перемещению его отдельных частей. Так, применяя подвижный блок, приходится дополнительно совершать работу по подъёму самого блока, верёвки и по преодолению силы трения в оси блока.

Какой бы механизм мы ни взяли, полезная работа, совершённая с его помощью, всегда составляет лишь часть полной работы. Следовательно, обозначив полезную работу буквой $A_п$, а полную (затраченную) — буквой $A_з$, можно записать:

$$A_п < A_з, \text{ или } \frac{A_п}{A_з} < 1.$$

Отношение полезной работы к полной работе называется коэффициентом полезного действия механизма.

$$КПД = \frac{A_п}{A_з}$$

Сокращённо коэффициент полезного действия обозначается КПД.

$$КПД = \frac{A_п}{A_з}.$$

$$\eta = \frac{A_п}{A_з} \cdot 100\%$$

КПД обычно выражают в процентах и обозначают греческой буквой η (читается «эта»):

$$\eta = \frac{A_п}{A_з} \cdot 100\%.$$

Пример. На коротком плече рычага подвешен груз массой 100 кг. Для его подъёма к длинному плечу приложили силу 250 Н. Груз подняли на высоту $h_1 = 0{,}08$ м, при этом точка приложения движущей силы опустилась на высоту $h_2 = 0{,}4$ м. Найти коэффициент полезного действия рычага.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	Решение:
$m = 100$ кг $g = 9{,}8\ \frac{Н}{кг}$ $F = 250$ Н $h_1 = 0{,}08$ м $h_2 = 0{,}04$ м η — ?	$\eta = \frac{A_п}{A_з} \cdot 100\%$. Полная (затраченная) работа $A_з = Fh_2$. Полезная работа $A_п = Ph_1$. $P = gm$. $P = 9{,}8\ \frac{Н}{кг} \cdot 100\ кг \approx 1000$ Н.

$A_п = 1000\ Н \cdot 0{,}08\ м = 80$ Дж.

$A_з = 250\ Н \cdot 0{,}4\ м = 100$ Дж.

$\eta = \frac{80\ Дж}{100\ Дж} \cdot 100\% = 80\%$.

Ответ: $\eta = 80\%$.

Но «золотое правило» механики выполняется и в этом случае. Часть полной работы — 20% её — расходуется на преодоление трения в оси рычага и сопротивления воздуха, а также на движение самого рычага.

Коэффициент полезного действия любого механизма всегда меньше 100%. Конструируя механизмы, стремятся увеличить их коэффициент полезного действия. Для этого уменьшают трение в осях механизмов и их вес.



1. Какую работу называют полезной, какую — полной? 2. Почему при применении механизмов для подъёма грузов и преодоления какого-либо сопротивления полезная работа не равна полной? 3. Что такое коэффициент полезного действия механизма? 4. Может ли коэффициент полезного действия быть больше единицы? Ответ обоснуйте. 5. Как можно увеличить коэффициент полезного действия?

ЭНЕРГИЯ

Чтобы на заводах и фабриках могли работать станки и машины, их приводят в движение электродвигатели, которые расходуют при этом электрическую энергию.

Автомобили и самолёты, тепловозы и теплоходы работают, расходуя энергию сгорающего топлива, гидротурбины — энергию падающей с высоты воды. Да и сами мы, чтобы жить и работать, возобновляем запас своей энергии при помощи пищи.

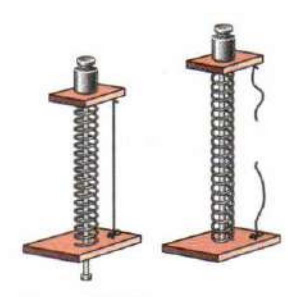


Рис. 192. Совершение работы сжатой пружиной при её распрямлении

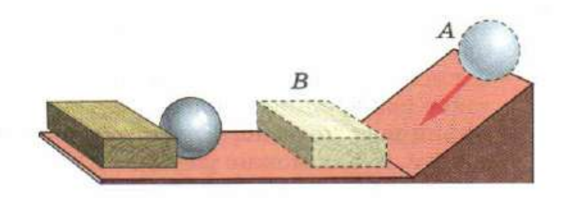
Слово «энергия» употребляется нередко и в быту. Так, например, людей, которые могут быстро выполнять большую работу, называют энергичными, обладающими большой энергией. Что же такое энергия? Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим примеры.

Сжатая пружина, распрямляясь, может совершить работу, например поднять на высоту груз (рис. 192) или заставить двигаться тележку.

Поднятый над землёй неподвижный груз не совершает работы, но если этот груз упадёт, то он совершит работу (например, может забить в землю сваю).

Способностью совершить работу обладает и всякое движущееся тело. Так, скатившийся с наклонной плоскости стальной шарик A (рис. 193), ударившись о деревянный брусок B, передвигает его на некоторое расстояние. При этом совершается работа.

Если тело или несколько взаимодействующих между собой тел (система тел) могут со-



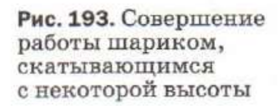


Рис. 193. Совершение работы шариком, скатывающимся с некоторой высоты

вершить работу, то говорят, что они обладают энергией.

Энергия — физическая величина, показывающая, какую работу может совершить тело (или несколько тел). Энергию выражают в СИ в тех же единицах, что и работу, т. е. в *джоулях*.

Чем бо́льшую работу может совершить тело, тем большей энергией оно обладает.

При совершении работы энергия тел изменяется. *Совершённая работа равна изменению энергии.*

? Вопросы **1.** На каких примерах можно показать, что работа и энергия — физические величины, связанные друг с другом? **2.** В каком случае можно сказать, что тело обладает энергией? **3.** Назовите единицы, в которых выражают работу и энергию.

§ 67 ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ И КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

Потенциальной (от лат. *потенциа* — возможность) энергией называется энергия, которая определяется взаимным положением взаимодействующих тел или частей одного и того же тела.

Потенциальной энергией, например, обладает тело, поднятое относительно поверхности Земли, потому что энергия тела зависит от взаимного положения его и Земли и их взаимного притяжения. Если считать потенциальную энергию тела, лежащего на Земле, равной нулю, то потенциальная энергия тела, поднятого на некоторую высоту, определится работой, которую совершит сила тяжести при падении тела на Землю. Обозначим потенциальную энергию тела $E_п$. Поскольку $E_п = A$, а работа, как мы знаем, равна произведению силы на путь, то

$$A = Fh,$$

где F — сила тяжести.



Рис. 194. Машина для забивания свай

Значит, в этом случае и потенциальная энергия $E_п$ равна

$$E_п = Fh, \text{ или } E_п = gmh,$$

где g — ускорение свободного падения, m — масса тела, h — высота, на которую поднято тело.

Огромной потенциальной энергией обладает вода в реках, удерживаемая плотинами. Падая вниз, вода совершает работу, приводя в движение мощные турбины электростанций.

Потенциальную энергию молота копра (рис. 194) используют в строительстве для совершения работы по забиванию свай.

Открывая дверь с пружиной, совершают работу по растяжению (или сжатию) пружины. За счёт приобретённой энергии пружина, сокращаясь (или распрямляясь), совершает работу, закрывая дверь.

Энергию сжатых и закрученных пружин используют, например, в механических часах, некоторых заводных игрушках и пр.

Потенциальной энергией обладает всякое упругое деформированное тело. Потенциальную энергию сжатого газа используют в работе тепловых двигателей, в отбойных молотках, которые широко применяют в горной промышленности, при строительстве дорог, выемке твёрдого грунта и т. д.

Энергия, которой обладает тело вследствие своего движения, называется кинетической (от греч. *кинема* — движение) энергией.

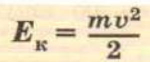
Кинетическая энергия тела обозначается буквой $E_к$.

Движущаяся вода, приводя во вращение колесо водяной мельницы, расходует свою кинетическую энергию и совершает работу. Кинетической энергией обладает и движущийся воздух — ветер, который заставляет вращаться флюгера на крышах.

От чего зависит кинетическая энергия? Обратимся к опыту (см. рис. 193). Если скатывать шарик A с разных высот, то можно заметить, что чем с большей высоты скатывается шарик, тем больше его скорость и тем дальше он передвигает брусок, т. е. совершает бо́льшую работу. Значит, кинетическая энергия тела зависит от его *скорости*.

За счёт того, что скорость летящей пули велика, она обладает большой кинетической энергией.

Кинетическая энергия тела зависит и от его *массы*. Ещё раз обратимся к опыту (см. рис. 193), но будем скатывать с наклонной плоскости другой шарик — большей массы. Брусок B передвинется дальше, т. е. будет совершена бо́льшая работа. Значит, и кинетическая энергия второго шарика больше, чем первого.

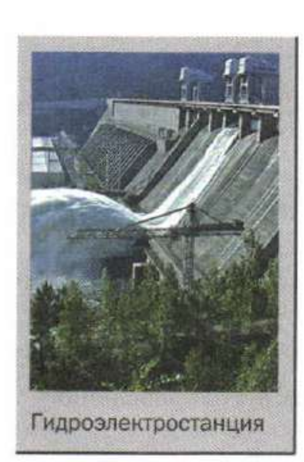


Чем больше масса тела и скорость, с которой оно движется, тем больше его кинетическая энергия.

Для того чтобы определить кинетическую энергию тела, применяют формулу

$$E_к = \frac{mv^2}{2},$$

где m — масса тела, v — скорость движения тела.


Гидроэлектростанция

Кинетическую энергию тел используют в технике. Например, на мощных гидроэлектростанциях за счёт кинетической энергии воды получают электрическую энергию. Удерживаемая плотиной вода обладает, как было уже

сказано, большой потенциальной энергией. При падении с плотины вода движется и имеет такую же большую кинетическую энергию. Она приводит в движение турбину, соединённую с генератором электрического тока.

Падающая вода является экологически чистым источником энергии в отличие от различных видов топлива.

Все тела в природе обладают либо потенциальной, либо кинетической энергией, а иногда той и другой вместе. Например, летящий самолёт обладает и кинетической, и потенциальной энергией.

Мы познакомились с двумя видами механической энергии. Иные виды энергии (электрическая, внутренняя и др.) будут рассмотрены в других разделах курса физики.



1. Какую энергию называют потенциальной? **2.** Приведите примеры тел, обладающих потенциальной энергией. **3.** Как показать, что деформированная пружина обладает потенциальной энергией? **4.** Какую энергию называют кинетической? От каких величин она зависит? **5.** В каком случае кинетическую энергию тела считают равной нулю? **6.** Назовите случаи, когда тела обладают кинетической энергией. **7.** Где используют кинетическую энергию текущей воды?

УПРАЖНЕНИЕ 34

1. Какой потенциальной энергией относительно Земли обладает тело массой 100 кг на высоте 10 м?
2. В каких местах реки — у истоков или в устье — каждый кубический метр воды обладает большей потенциальной энергией? Ответ обоснуйте.
3. В какой реке — горной или равнинной — каждый кубический метр текущей воды обладает большей кинетической энергией? Почему?
4. Определите, какой кинетической энергией будет обладать пуля, вылетевшая из ружья. Скорость её при вылете из ружья равна 600 $\frac{м}{с}$, а масса — 7,5 г.

§ 68 ПРЕВРАЩЕНИЕ ОДНОГО ВИДА МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ДРУГОЙ



Рис. 195. Маятник Максвелла

В природе, технике и быту можно часто наблюдать превращение одного вида механической энергии в другой: потенциальной в кинетическую и кинетической в потенциальную. Например, при падении воды с плотины её потенциальная энергия превращается в кинетическую. В качающемся маятнике периодически эти виды энергии переходят друг в друга.

Явление превращения одного вида механической энергии в другой очень удобно наблюдать на приборе, изображённом на рисунке 195. Накручивая на ось нить, поднимают диск прибора. Диск, поднятый вверх, обладает некоторой потенциальной энергией. Если его отпустить, то он, вращаясь, начнёт падать. По мере падения потенциальная энергия диска уменьшается, но вместе с тем возрастает его кинетическая энергия. В конце падения диск обладает таким запасом кинетической энергии, что может опять подняться почти до прежней высоты. (Часть энергии расходуется на работу против силы трения, поэтому диск не достигает первоначальной высоты.) Поднявшись вверх, диск снова падает, а затем снова поднимается. В этом опыте при движении диска вниз его потенциальная энергия превращается в кинетическую, а при движении вверх кинетическая энергия превращается в потенциальную.

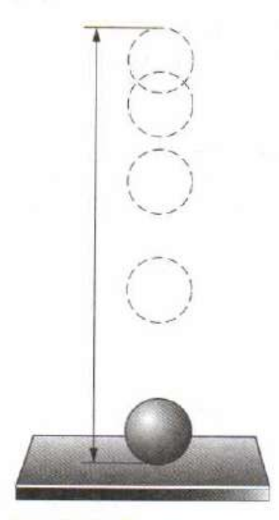


Рис. 196. Превращение потенциальной энергии шарика в кинетическую при его падении

Превращение энергии из одного вида в другой происходит также при ударе двух каких-нибудь упругих тел, например резинового мяча о пол или стального шарика о стальную плиту.

Если поднять над стальной плитой стальной шарик (рис. 196) и затем выпустить его из рук, то он будет падать. По мере падения шарика его потенциальная энергия убывает, а кинетическая растёт, так как увеличивается скорость движения шарика. При ударе шарика о плиту



Превращение потенциальной энергии тетивы в кинетическую энергию стрелы

произойдёт сжатие как шарика, так и плиты. Кинетическая энергия, которой шарик обладал, превратится в потенциальную энергию сжатой плиты и сжатого шарика. Затем благодаря действию упругих сил плита и шарик примут почти первоначальную форму. Шарик отскочит от плиты, а их потенциальная энергия вновь превратится в кинетическую энергию шарика: шарик отскочит вверх со скоростью, почти равной скорости, которой обладал в момент удара о плиту. При подъёме вверх скорость шарика, а следовательно, и его кинетическая энергия уменьшаются, потенциальная энергия растёт. Отскочив от плиты, шарик поднимается почти до той же высоты, с которой начал падать. В верхней точке подъёма вся кинетическая энергия шарика вновь превратится в потенциальную.

Явления природы обычно сопровождаются превращением одного вида энергии в другой.

Энергия может и передаваться от одного тела к другому. Так, например, при стрельбе из лука потенциальная энергия натянутой тетивы переходит в кинетическую энергию летящей стрелы.



1. Как на опыте можно показать превращение одного вида механической энергии в другой? **2.** Какие превращения энергии происходят при падении воды с плотины? **3.** Какие превращения энергии происходят при ударе стального шарика о стальную плиту?

УПРАЖНЕНИЕ 35

1. Какие превращения одного вида энергии в другой происходят: а) при падении воды водопада; б) при бросании мяча вертикально вверх; в) при закручивании пружины механических часов; г) на примере дверной пружины.
2. Массы падающих тел одинаковы. Одинаковы ли значения потенциальной энергии тел на одной и той же высоте и одинаковы ли значения кинетической энергии на этой высоте?
3. Приведите примеры тел, обладающих одновременно кинетической и потенциальной энергией.

Это любопытно…

Энергия движущейся воды и ветра. Гидравлические и ветряные двигатели

Всякое тело, поднятое над Землёй, обладает потенциальной энергией. Это в равной степени относится и к воде. Например, вода объёмом 1 м^3 на высоте 50 м обладает потенциальной энергией:

$$E_п = 9{,}8\ \frac{Н}{кг} \cdot 1000\ \frac{кг}{м^3} \cdot 1 м^3 \cdot 50\ м \approx 500\ 000\ Дж = 500\ кДж.$$

При падении воды с этой высоты совершится работа A = 500 кДж.

Но в природе сравнительно редко встречаются большие водопады. Чаще всего русла рек имеют небольшой уклон. В этих случаях для создания давления (*напора*), необходимого для работы гидравлических двигателей, приходится поднимать уровень воды в реке искусственно, при помощи плотин. За счёт энергии поднятой воды гидравлические двигатели могут совершать механическую работу.

Один из простейших и древнейших двигателей — *водяное колесо*. Наиболее совершенные гидравлические двигатели — *водяные турбины*. В таких турбинах вода отдаёт энергию колесу, приводя в движение лопасти турбины. Рабочее колесо турбины соединено с валом электрического генератора, дающего электрический ток.

Ветряные двигатели используют энергию движущегося воздуха — ветра. Энергию ветра иногда называют энергией «голубого угля».



Рис. 197. Ветряные двигатели

Ветер представляет собой источник дешёвой энергии, но этот источник энергии обладает большим непостоянством, — в этом его неудобство.

Ветряные двигатели известны с древнейших времён. Современный довольно мощный ветряной двигатель изображён на рисунке 197. Движущиеся массы воздуха оказывают давление на наклонные плоскости крыльев ветряных двигателей и приводят их в движение. Вращательное движение крыльев при помощи системы передач передаётся механизмам, выполняющим какую-либо работу.

Экономически целесообразно использовать ветродвигательные установки там, где ветры дуют часто и сильно. Например, в Поволжье, на Алтае. Удобно их использовать и в отдалённых районах, куда не поступает энергия от электростанций, куда трудно подвозить топливо, например в дальних или высокогорных экспедициях. Они, как и гидравличе-

ские двигатели, имеют преимущества перед двигателями, в которых источником энергии служит топливо или радиоактивное вещество. Во-первых, водяные и воздушные двигатели, после того как они построены, уже не требуют затрат на топливо. Энергия, используемая в них, — энергия текущей воды и ветра — поставляется самой природой, возобновляется.

Во-вторых, работа этих двигателей не сопровождается выделением вредных отходов: газов, образующихся при сгорании топлива или радиоактивных отходов, т. е. в водяных и ветряных двигателях используются экологически чистые источники энергии. В некоторых местах применяют ещё один вид экологически чистых двигателей, использующих энергию приливов и отливов воды в морях и океанах, причиной которых является сила всемирного тяготения.

ИТОГИ ГЛАВЫ

САМОЕ ГЛАВНОЕ

- *Механическая работа* совершается в том случае, когда тело движется под действием силы:

$$A = Fs.$$

- *Мощность* характеризует способность различных тел совершать определённую работу за некоторый промежуток времени:

$$N = \frac{A}{t}.$$

- *Рычаг* — это простой механизм, представляющий собой твёрдое тело, которое может вращаться вокруг неподвижной оси.
- Рычаг будет находиться в равновесии, если

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}.$$

- Для того чтобы узнать эффективность работы механизма, вводят **КПД**:

$$\eta = \frac{A_п}{A_з} \text{ или } \eta = \frac{A_п}{A_з} \cdot 100\%.$$

ПРОВЕРЬ СЕБЯ

1. Механическая работа совершается:
   А. если на тело действует сила и оно движется
   Б. если сила тяжести равна весу тела
   В. всегда, когда тело движется

2. Механическую работу вычисляют по формуле:
   А. $A = Fs$
   Б. $P = gm$
   В. $p = \frac{F}{S}$
3. Мощность — это:
   А. отношение работы ко времени, за которое она была совершена
   Б. работа, которую совершает тело
   В. сила, с которой совершается работа
4. За единицу мощности в СИ принят:
   А. ватт (Вт)
   Б. джоуль (Дж)
   В. ньютон (Н)
5. Плечо силы — это:
   А. кратчайшее расстояние между точкой опоры и линией действия силы
   Б. расстояние до точки приложения силы
6. Условие равновесия рычага:
   А. $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$
   Б. $\frac{F_1}{l_1} = \frac{F_2}{l_2}$
   В. $F = gm$
7. Момент силы вычисляют по формуле:
   А. $M = Fl$
   Б. $M = Fs$
   В. $M = \frac{F}{S}$
8. КПД — это:
   А. отношение полезной работы к полной
   Б. равенство полезной работы и полной
   В. когда полная работа меньше полезной



Выполните задания, предложенные в электронном приложении.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ



№ 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНЫ ДЕЛЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА

Цель работы Определить цену деления измерительного цилиндра (мензурки), научиться пользоваться им и определять с его помощью объём жидкости.

Приборы и материалы Измерительный цилиндр (мензурка), стакан с водой, небольшая колба и другие сосуды.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Рассмотрите измерительный цилиндр, обратите внимание на его деления. Ответьте на следующие вопросы.

   1) Какой объём жидкости вмещает измерительный цилиндр, если жидкость налита: а) до верхнего штриха; б) до первого снизу штриха, обозначенного цифрой, отличной от нуля?
   2) Какой объём жидкости помещается: а) между 2-м и 3-м штрихами, обозначенными цифрами; б) между соседними (самыми близкими) штрихами мензурки?

2. Как называется последняя вычисленная вами величина? Как определяют цену деления шкалы измерительного прибора?

Запомните: прежде чем проводить измерения физической величины с помощью измерительного прибора, определите цену деления его шкалы.

3. Рассмотрите рисунок 7 учебника и определите цену деления изображённой на нём мензурки.

4. Налейте в измерительный цилиндр воды, определите и запишите, чему равен объём налитой воды.

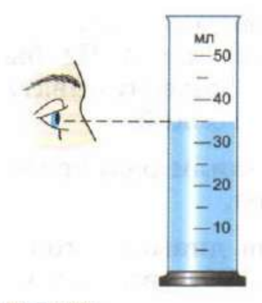


Рис. 198

Примечание. Обратите внимание на правильное положение глаза при отсчёте объёма жидкости. Вода у стенок сосуда немного приподнимается, в средней же части сосуда поверхность жидкости почти плоская. Глаз следует направить на деление, совпадающее с плоской частью поверхности (рис. 198).

5. Налейте полный стакан воды, потом осторожно перелейте воду в измерительный цилиндр. Определите и запишите с учётом погрешности, чему равен объём налитой воды. Вместимость стакана будет такой же.
6. Таким же образом определите вместимость колбы, аптечных склянок и других сосудов, которые находятся на вашем столе.
7. Результаты измерений запишите в таблицу 6.

Таблица 6

№ опыта	Название сосуда	Объём жидкости $V_ж$, см^3	Вместимость сосуда $V_с$, см^3
1	Стакан		
2	Колба		
3	Пузырёк		

№ 2 ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ МАЛЫХ ТЕЛ

Цель работы Научиться выполнять измерения способом рядов.

Приборы и материалы Линейка, дробь (или горох), иголка.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Положите вплотную к линейке несколько (20—25 штук) дробинок (или горошин) в ряд. Измерьте длину ряда и вычислите диаметр одной дробинки.



Рис. 199

2. Определите таким же способом размер крупинки пшена (или зёрнышка мака). Чтобы удобнее было укладывать и пересчитывать крупинки, воспользуйтесь иголкой.

Способ, которым вы определили размер тела, называют *способом рядов*.

3. Определите способом рядов диаметр молекулы по фотографии (рис. 199, увеличение равно 70 000).

Данные всех опытов и полученные результаты занесите в таблицу 7.

Таблица 7

№ опыта	Число частиц в ряду	Длина ряда l, мм	Размер одной частицы d, мм	
1 (горох)				
2 (пшено)				
3 (молекула)			на фотографии	истинный размер

№ 3 ИЗМЕРЕНИЕ МАССЫ ТЕЛА НА РЫЧАЖНЫХ ВЕСАХ

Цель работы Научиться пользоваться рычажными весами и с их помощью определять массу тел.

Приборы и материалы Весы с разновесами, несколько небольших тел разной массы.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Придерживаясь правил взвешивания, измерьте массу нескольких твёрдых тел с точностью до 0,1 г.
2. Результаты измерений запишите в таблицу 8.

Таблица 8

№ опыта	Масса тела m, г
1	
2	
3	

Приложение

Правила взвешивания

1. Перед взвешиванием необходимо убедиться, что весы уравновешены. При необходимости для установления равновесия на более лёгкую чашку нужно положить полоски бумаги, картона и т. п.
2. Взвешиваемое тело кладут на левую чашку весов, а гири — на правую.
3. Во избежание порчи весов взвешиваемое тело и гири нужно опускать на чашки осторожно, не роняя их даже с небольшой высоты.
4. Нельзя взвешивать тела более тяжёлые, чем указанная на весах предельная нагрузка.
5. На чашки весов нельзя класть мокрые, грязные, горячие тела, насыпать без использования подкладки порошки, наливать жидкости.
6. Мелкие гири нужно брать только пинцетом (рис. 200).

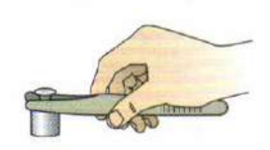


Рис. 200

Положив взвешиваемое тело на левую чашку, на правую кладут гирю, имеющую массу, немного бóльшую, чем масса взвешиваемого тела (подбирают на глаз с последующей проверкой). При несоблюдении этого правила нередко случается, что мелких гирь не хватает и приходится взвешивание начинать сначала.

Если гиря перетянет чашку, то её ставят обратно в футляр, если же не перетянет — оставляют на чашке. Затем то же проделывают со следующей гирей меньшей массы и т. д., пока не будет достигнуто равновесие.

Уравновесив тело, подсчитывают общую массу гирь, лежащих на чашке весов. Затем переносят гири с чашки весов в футляр.

Проверяют, все ли гири положены в футляр, находится ли каждая из них на предназначенном для неё месте.

№ 4 ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЁМА ТЕЛА

Цель работы Научиться определять объём тела с помощью измерительного цилиндра.

Приборы и материалы Измерительный цилиндр (мензурка), тела неправильной формы небольшого объёма (гайки, фарфоровые ролики, кусочки металла и др.), нитки.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Определите цену деления мензурки.
2. Налейте в мензурку столько воды, чтобы тело можно было полностью погрузить в воду, и измерьте её объём.
3. Опустите тело, объём которого надо измерить, в воду, удерживая его за нитку (рис. 201), и снова измерьте объём жидкости.
4. Проделайте опыты, описанные в пунктах 2 и 3, с некоторыми другими имеющимися у вас телами.
5. Результаты измерений запишите в таблицу 9.

Таблица 9

№ опыта	Название тела	Начальный объём жидкости в мензурке V_1, см^3	Объём жидкости и тела V_2, см^3	Объём тела V, см^3 $V = V_2 - V_1$

Рис. 201

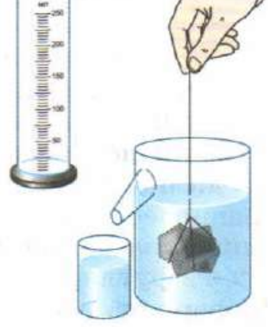


Рис. 202

Дополнительное задание

Если тело неправильной формы не входит в мензурку, то его объём можно определить с помощью отливного сосуда (рис. 202). Перед измерением сосуд наполняют водой до отверстия отливной трубки. При погружении в него тела часть воды, равная объёму тела, выливается. Измерив мензуркой её объём, определяют объём погружённого в жидкость тела.

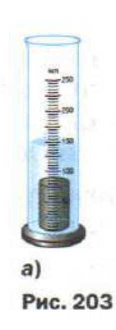
№ 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЁРДОГО ТЕЛА

Цель работы Научиться определять плотность твёрдого тела с помощью весов и измерительного цилиндра.

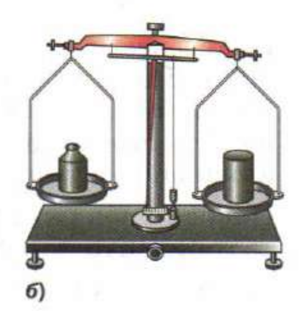
Приборы и материалы Весы с разновесами, измерительный цилиндр (мензурка), твёрдое тело, плотность которого надо определить, нитка (рис. 203).

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Повторите по учебнику § 22 «Плотность вещества».
2. Измерьте массу тела на весах (см. лабораторную работу № 3).
3. Измерьте объём тела с помощью мензурки (см. лабораторную работу № 4).
4. Рассчитайте по формуле $\rho = \frac{m}{V}$ плотность данного тела.



а)



б)

Рис. 203

5. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 10.

Таблица 10

Название вещества	Масса тела m, г	Объём тела V, см^3	Плотность вещества, ρ	
			$\frac{г}{см^3}$	$\frac{кг}{м^3}$

№ 6 ГРАДУИРОВАНИЕ ПРУЖИНЫ

Цель работы Научиться градуировать пружину, получать шкалу с любой (заданной) ценой деления и с её помощью измерять силы.

Приборы и материалы Динамометр, шкала которого закрыта бумагой, набор грузов массой по 102 г, штатив с муфтой, лапкой и кольцом.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Прочитайте в учебнике § 30 «Динамометр».
2. Укрепите динамометр с закрытой шкалой вертикально в лапке штатива. Отметьте горизонтальной чертой начальное положение указателя динамометра, — это будет нулевая отметка шкалы.
3. Подвесьте к крючку динамометра груз, масса которого 102 г. На этот груз действует сила тяжести, равная 1 Н. С такой же силой груз растягивает пружину динамометра. Эта сила уравновешивается силой упругости, возникающей в пружине при её растяжении (деформации).

   Новое положение указателя динамометра также отметьте горизонтальной чертой на бумаге.

Примечание. Грузы массой 102 г можно получить, прибавив 2 г (колечко из проволоки) к имеющимся грузам массой 100 г.

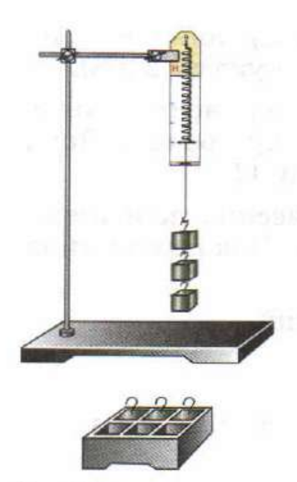


Рис. 204

4. Затем подвешивайте к динамометру второй, третий, четвёртый грузы той же массы (102 г), каждый раз отмечая чёрточками на бумаге положение указателя (рис. 204).
5. Снимите динамометр со штатива и против горизонтальных чёрточек, начиная с верхней, проставьте числа 0, 1, 2, 3, 4... Выше числа 0 напишите: «ньютон».
6. Измерьте расстояния между соседними чёрточками. Одинаковы ли они? Почему (см. § 29)? На основании сделанного вывода скажите, с какой силой растянут пружину грузы массой 51 г; 153 г.
7. Не подвешивая к динамометру грузы, получите шкалу с ценой деления 0,1 Н.
8. Измерьте проградуированным динамометром вес какого-нибудь тела, например кольца от штатива, лапки штатива, груза.
9. Нарисуйте проградуированный динамометр.

№ 7 ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ДИНАМОМЕТРА

Цель работы Выяснить, от чего зависит сила трения скольжения, и сравнить её с силой трения качения.

Приборы и материалы Динамометр, деревянный брусок, две цилиндрические палочки (круглые карандаши), набор грузов.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Положите брусок на деревянную поверхность стола.
2. Прикрепите к бруску динамометр и постарайтесь равномерно перемещать брусок по поверхности. Динамометр будет показывать силу тяги, равную силе трения. Запишите показания динамометра в таблицу 11.
3. Определите вес бруска и запишите в таблицу. Сравните вес бруска с силой трения.

4. Поставив груз на брусок, повторите измерения поочерёдно с одним грузом, а затем с двумя (см. пункты 2 и 3).
5. Положите брусок на пластмассовую поверхность и, перемещая его равномерно, определите силу трения. Показания динамометра запишите в таблицу 11.
6. Разместите брусок на двух цилиндрических палочках и равномерно перемещайте его по столу. Показания динамометра запишите в таблицу 11.
7. Проанализируйте результаты измерений.

Таблица 11

№ опыта	1	2	3	4
Сила трения $F_{тр}$, Н				
Вес тела P, Н				

№ 8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫТАЛКИВАЮЩЕЙ СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НА ПОГРУЖЁННОЕ В ЖИДКОСТЬ ТЕЛО

Цель работы Обнаружить на опыте выталкивающее действие жидкости на погружённое в неё тело и определить выталкивающую силу.

Приборы и материалы Динамометр, штатив с муфтой и лапкой, два тела разного объёма, стаканы с водой и насыщенным раствором соли в воде.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Повторите по учебнику § 51 «Архимедова сила».
2. Укрепите динамометр на штативе и подвесьте к нему на нити тело. Отметьте и запишите в таблице показание динамометра. Это будет вес тела в воздухе.
3. Подставьте стакан с водой и опускайте муфту с лапкой и динамометром, пока всё тело не окажется под водой. Отметьте и запишите в таблицу показание динамометра. Это будет вес тела в воде.

4. По полученным данным вычислите выталкивающую силу, действующую на тело.

5. Вместо чистой воды возьмите насыщенный раствор соли и снова определите выталкивающую силу, действующую на то же тело.

6. Подвесьте к динамометру тело другого объёма и определите указанным способом (см. пункты 2 и 3) выталкивающую силу, действующую на него в воде.

7. Результаты запишите в таблицу 12.

Таблица 12

Жидкость	Вес тела в воздухе P, Н		Вес тела в жидкости P_1, Н		Выталкивающая сила F, Н $F = P - P_1$	
	P_{V_1}	P_{V_2}	P_{1V_1}	P_{1V_2}	F_{V_1}	F_{V_2}
Вода						
Насыщенный раствор соли в воде						

На основе выполненных опытов сделайте выводы.
От каких величин зависит значение выталкивающей силы?

№ 9 ВЫЯСНЕНИЕ УСЛОВИЙ ПЛАВАНИЯ ТЕЛА В ЖИДКОСТИ

Цель работы На опыте выяснить условия, при которых тело плавает и при которых тонет.

Приборы и материалы Весы с разновесами, измерительный цилиндр (мензурка), пробирка-поплавок с пробкой, проволочный крючок, сухой песок, фильтровальная бумага или сухая тряпка.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Повторите по учебнику § 52 «Плавание тел».
2. Насыпьте в пробирку столько песка, чтобы она, закрытая пробкой, плавала в мензурке с водой в вертикальном положении и часть её находилась над поверхностью воды.
3. Определите выталкивающую силу, действующую на пробирку. Она равна весу воды, вытесненной пробиркой. Для нахождения этого веса определите сначала объём вытесненной воды. Для этого отметьте уровни воды в мензурке до и после погружения пробирки в воду. Зная объём вытесненной воды и плотность, вычислите её вес.
4. Выньте пробирку из воды, протрите её фильтровальной бумагой или тряпкой. Определите на весах массу пробирки с точностью до 1 г и рассчитайте силу тяжести, действующую на неё, она равна весу пробирки с песком в воздухе.
5. Насыпьте в пробирку ещё немного песка. Вновь определите выталкивающую силу и силу тяжести. Проделайте это несколько раз, пока пробирка, закрытая пробкой, не утонет.
6. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 13. Отметьте, когда пробирка плавает и когда тонет или всплывает.

Таблица 13

№ опыта	Выталкивающая сила, действующая на пробирку, F, Н $F = g\rho_ж V$	Вес пробирки с песком P, Н $P = gm$	Поведение пробирки в воде (плавает пробирка или тонет)
1			
2			
3			

7. Сделайте вывод об условии плавания тела в жидкости.

№ 10 ВЫЯСНЕНИЕ УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ РЫЧАГА

Цель работы Проверить на опыте, при каком соотношении сил и их плеч рычаг находится в равновесии. Проверить на опыте правило моментов.

Приборы и материалы Рычаг на штативе, набор грузов, измерительная линейка, динамометр (рис. 205).

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Повторите по учебнику § 58 «Рычаг. Равновесие сил на рычаге».
2. Уравновесьте рычаг, вращая гайки на его концах так, чтобы он расположился горизонтально.
3. Подвесьте два груза на левой части рычага на расстоянии, равном примерно 12 см от оси вращения. Опытным путём установите, на каком расстоянии вправо от оси вращения надо подвесить: а) один груз; б) два груза; в) три груза, чтобы рычаг пришёл в равновесие.
4. Считая, что каждый груз весит 1 Н, запишите данные и измеренные величины в таблицу 14.

Таблица 14

№ опыта	Сила F_1 на левой части рычага, Н	Плечо l_1, см	Сила F_2 на правой части рычага, Н	Плечо l_2, см	Отношение сил и плеч	
					$\frac{F_1}{F_2}$	$\frac{l_2}{l_1}$
1						
2						
3						

5. Вычислите отношение сил и отношение плеч для каждого из опытов и полученные результаты запишите в последний столбик таблицы.

6. Проверьте, подтверждают ли результаты опытов условие равновесия рычага под действием приложенных к нему сил и правило моментов сил (§ 58).

Дополнительное задание

Подвесьте три груза справа от оси вращения рычага на расстоянии 5 см.

С помощью динамометра определите, какую силу нужно приложить на расстоянии 15 см от оси вращения правее грузов, чтобы удерживать рычаг в равновесии (см. рис. 205).

Как направлены в этом случае силы, действующие на рычаг? Запишите длину плеч этих сил. Вычислите отношение сил $\frac{F_1}{F_2}$ и плеч $\frac{l_2}{l_1}$ для этого случая и сделайте соответствующий вывод.

№ 11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД ПРИ ПОДЪЁМЕ ТЕЛА ПО НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

Цель работы Убедиться на опыте в том, что полезная работа, выполненная с помощью простого механизма (наклонной плоскости), меньше полной.

Приборы и материалы Доска, динамометр, измерительная лента или линейка, брусок, штатив с муфтой и лапкой (рис. 206).

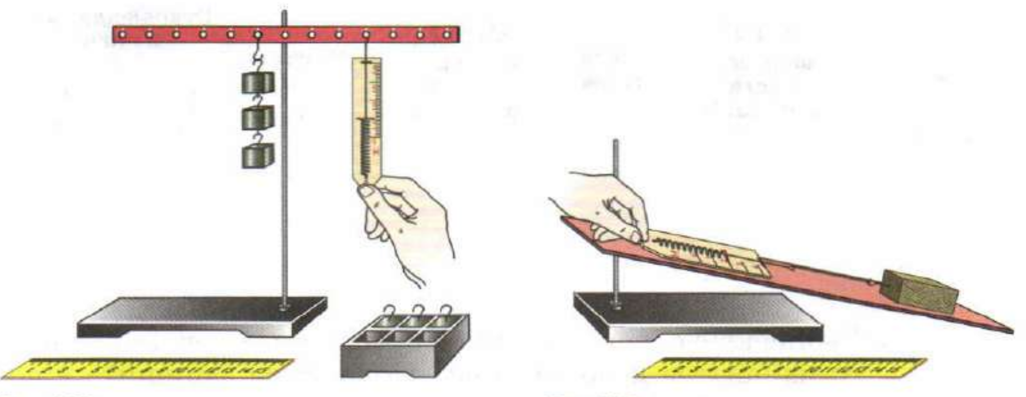


Рис. 205

Рис. 206

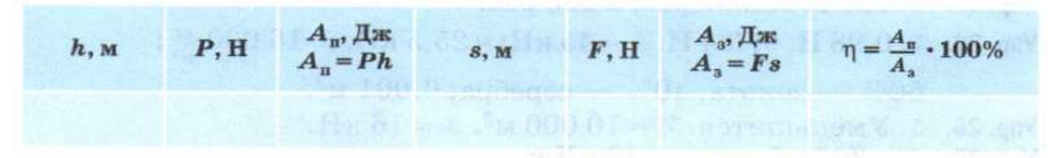
УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Повторите по учебнику § 65 «Коэффициент полезного действия механизма».
2. Определите с помощью динамометра вес бруска.
3. Закрепите доску в лапке штатива в наклонном положении.
4. Положите брусок на доску, прикрепив к нему динамометр.
5. Перемещайте брусок с постоянной скоростью вверх по наклонной доске.
6. Измерьте с помощью линейки путь s, который проделал брусок, и высоту наклонной плоскости h.
7. Измерьте силу тяги F.
8. Вычислите полезную работу по формуле $A_п = Ph$, а затраченную — по формуле $A_з = Fs$.
9. Определите КПД наклонной плоскости:

$$\eta = \frac{A_п}{A_з} \cdot 100\%.$$

10. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 14.

Таблица 15



h, м	P, Н	$A_п$, Дж $A_п = Ph$	s, м	F, Н	$A_з$, Дж $A_з = Fs$	$\eta = \frac{A_п}{A_з} \cdot 100\%$

Дополнительное задание

1. Используя «золотое правило» механики, рассчитайте, какой выигрыш в силе даёт наклонная плоскость, если не учитывать трение.
2. Измените высоту наклонной плоскости и для неё определите полезную, полную работу и КПД.

ОТВЕТЫ К УПРАЖНЕНИЯМ

Упр. 3. 3. 300 $\frac{км}{ч}$. 4. 13,3 $\frac{м}{с}$. 5. 4 $\frac{м}{с}$.

Упр. 4. 2. 16,2 км.

Упр. 6. 2. 1 $\frac{м}{с}$. 3. ≈ 4,4 кг.

Упр. 7. 4. 0,12 $\frac{г}{см^3}$; 120 $\frac{кг}{м^3}$. 5. 1,8 $\frac{г}{см^3}$.

Упр. 8. 1. 0,4 кг; 0,5 кг; 6,8 кг. 2. 120 $см^3$. 3. 4 кг. 4. ≈ 53. 5. 0,5 л.

Упр. 10. 1. 34 Н; 4 Н; 15 кН; ≈ 0,6 Н. 2. 500 Н; 3 Н. 3. ≈ 71 кг. 5. 50 Н; 50 Н.

Упр. 12. 1. ≈ 900 Н. 2. 10 Н. 3. 700 Н.

Упр. 14. 2. ≈ 47 кПа; ≈ в 3 раза. 3. 6000 кПа ($6 \cdot 10^3$ кПа). 4. ≈ 1500 Па; в 10 раз меньше.

Упр. 16. 3. Изменилось; одинаково.

Упр. 17. 1. ≈ 6 кПа; ≈ 4,8 кПа; ≈ 82 кПа. 2. ≈ 112 000 кПа. 3. 50 $см^2$.

Упр. 21. 1. ≈ 10,3 м. 2. 28,4 кН.

Упр. 22. г) 1000 гПа; 750 мм рт. ст.

Упр. 23. 2. ≈ 460 м. 3. ≈ 1013 гПа. 4. ≈ 162 кН.

Упр. 24. 1. ≈ 10,3 м. 2. ≈ 13 м; ≈ 76 см.

Упр. 25. 1. 120 т. 2. В 90 раз; в 100 раз.

Упр. 26. 3. 0,98 Н; 0,784 Н. 4. ≈ 45 кН; ≈ 25,5 кН. 5. 16 000 $\frac{кг}{м^3}$; 60% — золота, 40% — серебра; 0,001 $м^3$.

Упр. 28. 1. Уменьшится. 2. ≈ 10 000 $м^3$. 3. ≈ 16 кН.

Упр. 30. 3. ≈ 300 кДж. 4. ≈ 240 кДж.

Упр. 31. 1. ≈ 180 кВт. 2. ≈ 55 Вт. 3. 120 000 кДж. 4. 750 Вт. 6. ≈ 2,9 кВт.

Упр. 32. 5. ≈ 416 кг.

Упр. 33. 1. 3 м. 2. 2240 Дж. 5. 2380 Дж.

Упр. 34. 1. ≈ 10 кДж. 4. 1350 Дж.

Задание к § 41. В левом сосуде на 2,94 кПа.

ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ГЛАВА 1 ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОЕНИИ ВЕЩЕСТВА

ГЛАВА 2 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

ГЛАВА 3 ДАВЛЕНИЕ ТВЁРДЫХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

ГЛАВА 4 РАБОТА И МОЩНОСТЬ. ЭНЕРГИЯ

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Учебное издание

Перышкин Александр Васильевич

ФИЗИКА

7 класс

Учебник
для общеобразовательных учреждений

Ответственный редактор *Е. Н. Тихонова*
Оформление *А. В. Копалин*
Художники *В. С. Давыдов, И. В. Логачева*
Художественные редакторы *М. В. Мандрыкина, Ю. В. Христич*
Технический редактор *С. А. Толмачева*
Компьютерная верстка *Г. А. Фетисова*
Корректор *Г. И. Мосякина*

Сертификат соответствия
№ РОСС RU. AE51. H 15488.



Подписано к печати 21.06.12. Формат 70 × 90 $^{1}/_{16}$.
Бумага офсетная. Гарнитура «Школьная». Печать офсетная.
Усл. печ. л. 16,38. Тираж 15 000 экз. Заказ № 2888.

ООО «Дрофа». 127018, Москва, Сущевский вал, 49.

Предложения и замечания по содержанию и оформлению книги просим направлять в редакцию общего образования издательства «Дрофа»: 127018, Москва, а/я 79. Тел.: (495) 795-05-41. E-mail: chief@drofa.ru

По вопросам приобретения продукции издательства «Дрофа» обращаться по адресу: 127018, Москва, Сущевский вал, 49.
Тел.: (495) 795-05-50, 795-05-51. Факс: (495) 795-05-52.

Торговый дом «Школьник». 109172, Москва, ул. Малые Каменщики, д. 6, стр. 1А.
Тел.: (499) 911-70-24, 912-15-16, 912-45-76.
Книжный магазин «УЗНАЙ-КА!».
127434, Москва, Дмитровское шоссе, д. 25, корп. 1. Тел.: (499) 976-48-60.
ООО «Абрис». 129075, Москва, ул. Калибровская, д. 31А.
Тел./факс: (495) 981-10-39, 258-82-13, 258-82-14. http://www.textbook.ru
ООО «Разумник». 129110, Москва, Напрудный пер., д. 15.
Тел.: (495) 961-50-08. http://www.razumnik.ru
Интернет-магазин «UMLIT.RU». http://www.umlit.ru
Интернет-магазин «Умник и К». http://www.umnikk.ru

Интернет-магазин: http://www.drofa.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных издательством материалов в ОАО «Тверской ордена Трудового Красного Знамени полиграфкомбинат детской литературы им. 50-летия СССР».
170040, г. Тверь, проспект 50 лет Октября, 46.

Основная единица длины в СИ

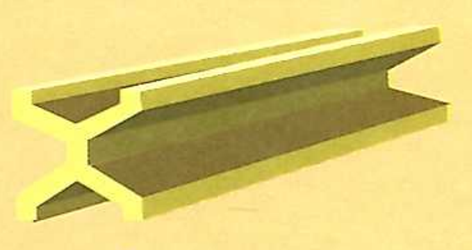
метр (1 м)

1 км = 1000 м

1 дм = 0,1 м

1 см = 0,01 м

1 мм = 0,001 м



Эталон метра

Основная единица объема в СИ

кубический метр (1 м^3)

1 км^3 = 1 000 000 000 м^3

1 дм^3 = 0,001 м^3

1 см^3 = 0,000001 м^3

1 л = 1 дм^3 = 0,001 м^3

1 мл = 0,001 л = 1 см^3

$$V = Sh$$

Основная единица площади в СИ

квадратный метр (1 м^2)

1 км^2 = 1 000 000 м^2

1 дм^2 = 0,01 м^2

1 см^2 = 0,0001 м^2

1 мм^2 = 0,000001 м^2

$$S = ab$$

Основная единица скорости в СИ

метр в секунду ($1\ \frac{м}{с}$)

$$1\ \frac{км}{ч} = \frac{1 \cdot 1000\ м}{3600\ с} = 0{,}28\ \frac{м}{с}$$

$$v = \frac{s}{t}$$

$$1\ \frac{см}{с} = \frac{1 \cdot 0{,}01\ м}{1\ с} = 0{,}01\ \frac{м}{с}$$

$$1\ \frac{м}{с} = \frac{1}{1000}\ км : \frac{1}{3600}\ ч = \frac{3600\ км}{1000\ ч} = 3{,}6\ \frac{км}{ч}$$

Основная единица массы в СИ

килограмм (1 кг)

тонна (1 т)
1 т = 1000 кг

грамм (1 г)
1 г = 0,001 кг

1 миллиграмм (1 мг)
1 мг = 0,000001 кг



Эталон килограмма

Основная единица плотности в СИ

килограмм на кубический метр $(1\ \frac{кг}{м^3})$

килограмм на кубический дециметр $(1\ \frac{кг}{дм^3})$

$1\ \frac{кг}{дм^3} = 1000\ \frac{кг}{м^3}$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

грамм на кубический сантиметр $(1\ \frac{г}{см^3})$

$1\ \frac{г}{см^3} = 1000\ \frac{кг}{м^3}$

Основная единица силы в СИ

ньютон (1 Н)

$$F_{тяж} = gm$$

$$F_{упр} = k\Delta l$$

килоньютон (1 кН)
1 кН = 1000 Н; 1 Н = 0,001 кН

миллиньютон (1 мН)
1 мН = 0,001 Н

Основная единица мощности в СИ

ватт (1 Вт)

киловатт (1 кВт)
1 кВт = 1000 Вт

мегаватт (1 МВт)
1 МВт = 1 000 000 Вт

милливатт (1 мВт)
1 мВт = 0,001 Вт

$$N = \frac{A}{t}$$

Основная единица работы и энергии в СИ

джоуль (1 Дж)

килоджоуль (1 кДж)
1 кДж = 1000 Дж

$$E_п = gmh$$

$$E_к = \frac{mv^2}{2}$$

Основная единица давления в СИ

паскаль (1 Па)

килопаскаль (1 кПа)
1 кПа = 1000 Па

гектопаскаль (1 гПа)
1 гПа = 100 Па

миллиметр ртутного столба (1 мм рт. ст.)
1 мм рт. ст. = 133 Па

$$p = \frac{F}{S}$$